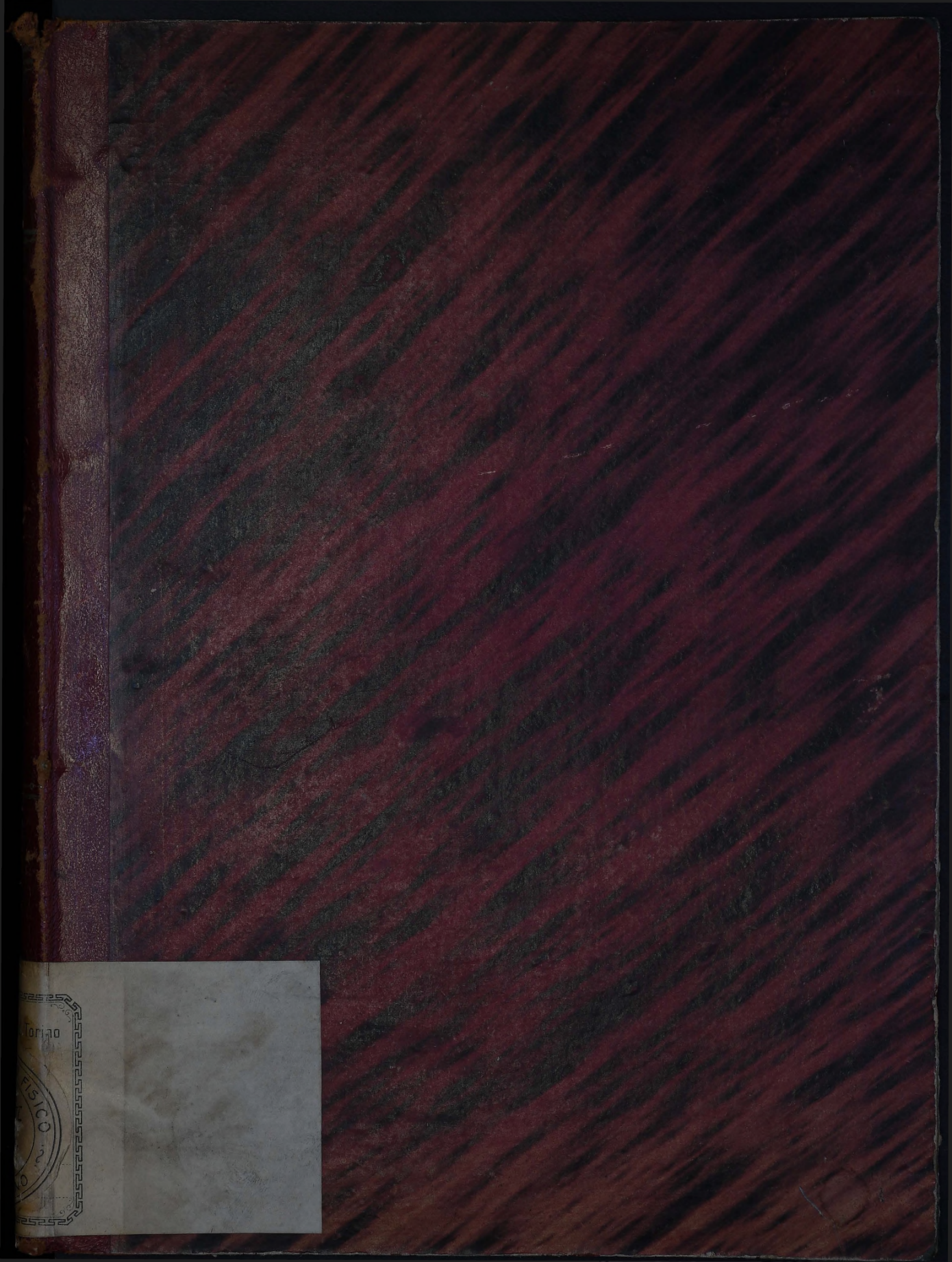


RICORDO del Professore Commendatore **Giuseppe Domenico Botto** al Gabinetto di Fisica dell' Università di Torino dato dal Nipote ed Erede GIAMBATTISTA BOTTO di Parma.

536.63
S
225

F/S N° 9 nr. 1375

St. II. n° 132

BOTTO Pre AVO

R.L.A. 9015

Precisazione inventario: A.V. – Sul controprotetto ant.: Etichetta di dono (Fondo Botto).

MEMORIA

SUI CALORI SPECIFICI DE' CORPI SOLIDI E LIQUIDI

DEL CAVALIERE AMEDEO AVOGADRO

INSERITA NEL TOMO XX. PARTE FISICA DEGLI ATTI

DELLA SOCIETÀ ITALIANA DELLE SCIENZE

RESIDENTE IN MODENA.

R. Università di Torino
ISTITUTO DI FISICA

MODENA

PRESSO LA TIPOGRAFIA CAMERALE

MDCCCXXXII.

MEMORIA

SUI CALORI SPECIFICI DE' CORPI SOLIDI E LIQUIDI

DEL CAVALIERE AMEDEO AVOGADRO

La ricerca dei calori specifici de' corpi solidi e liquidi ha acquistata una grande importanza agli occhi de' Fisici e de' Chimici, da che i Signori Dulong e Petit hanno scoperta una connessione tra questi calori specifici, ed i pesi degli atomi de' corpi semplici e particolarmente de' metalli. La legge che essi hanno stabilito a tal riguardo, in seguito alle loro sperienze, e che consiste nell' uguaglianza del calore specifico di ciascun atomo ne' diversi corpi, non è forse, come già l'ho notato altrove, rigorosamente esatta: ma considerata anche come una semplice approssimazione, che nell'applicazione dee subir modificazioni dipendenti dallo stato particolare di coesione de' corpi, dalla loro dilatabilità ecc., essa non lascia di essere d'una grande utilità, per rimuovere l'arbitrario della scelta tra i moltiplici d'un medesimo numero, che le semplici considerazioni chimiche lasciano sovente nella determinazione del peso degli atomi dei corpi semplici. Io credo essere stato il primo a farne applicazioni di questo genere nella mia Memoria sopra le masse delle molecole de' corpi, letta alla R. Accademia di Torino nel 1821., e pubblicata nel T. XXVI di quest'Accademia, e il Sig. Berzelius ne ha poi fatto uso nelle nuove determinazioni, a cui si è ultimamente fissato sul peso degli atomi delle diverse sostanze elementari.

La determinazione del modo in cui possa questa legge

modificarsi nella sua estensione ai corpi composti, dee ora naturalmente eccitare la curiosità del fisico, e questa determinazione non sarebbe meno utile ai progressi della Chimica, per la possibilità che ne risulterebbe di fissare i pesi degli atomi di quelli tra i corpi semplici, che non possono ottenersi, almeno sotto forma solida o liquida, se non in istato di combinazione, e per la cognizione che essa potrebbe darci della costituzione degli atomi composti, ne' corpi che si presentano sotto questa forma.

Il Sig. Dulong si è occupato ultimamente con ottima riuscita, sebbene con mezzi indiretti, dell'esatta determinazione del calore specifico di molti corpi gazosi, e sembra aver posto fuori d'ogni dubbio, che la legge dell' uguaglianza del calore specifico degli atomi ha pur luogo (forse più rigorosamente) ne' corpi gazosi, in cui essa è rappresentata dall' uguaglianza di calore specifico a volume uguale, pe' gaz semplici di cui s' impedisca la dilatazione (*Recherches sur la chaleur spècifique des fluides elastiques. Annales de Chimie et de Phisique Juin* 1829, e *Mèmoires de l'Academie des Sciences de Paris T.* 10.)

Io ho fatto osservare in una nota pubblicata nel *Bulletin* del Sig. Ferussac (*Sur la relation entre les chaleurs spciefiques des gaz composès, et celles de leurs gaz composans*: *Mars* 1830.) che i risultati del Sig. Dulong confermavano per altra parte, in una maniera affatto soddisfacente la legge del calore specifico de' gaz composti, che io avea anteriormente (Biblioteca Italiana, Dicembre 1816. e Gennajo 1817, e Atti della Società Italiana delle Scienze T. XIX.) creduto poter dedurre dalle sperienze più antiche, e meno esatte di Berard e De la Roche sui calori specifici de' gaz. Questa legge, ammettendo secondo il risultato di Dulong (che le sperienze di Berard e De la Roche non aveano ancor bastato a stabilire) l' uguaglianza del calore specifico de' gaz semplici a volume uguale, si riduce a dire, *che quello de' gaz composti, sempre a volume uguale, è espresso dalla radice quadrata del numero intiero,*

o rotto dei volumi de' gaz semplici che concorrono a formare un volume del gaz composto, e ciò prendendo per unità de' calori specifici quello dello stesso volume di un gaz semplice qualunque (1). Se si suppone, come io ho notato il primo che si dovea fare per soddisfare alla *legge dei volumi* di Gay-Lussac nelle combinazioni gazose (*Essai d' une maniere de determiner les masses relatives des molècules etc.* Journal de Physique Juillet 1811.) e come si fa ora quasi generalmente, che nei gaz presi ad una stessa temperatura e pressione, uguali volumi contengono lo stesso numero di molecole integranti, od atomi, quali essi si trovano allo stato gazoso, la legge di cui si tratta viene ad essere, *che il calore specifico d' un atomo gazoso composto è espresso dalla radice quadrata del numero intiero o rotto di atomi gazosi semplici, che concorrono alla formazione di quest' atomo composto.* Ma mi parve allora dubbioso, che questa legge fosse applicabile ai corpi solidi e liquidi, e il Sig. Dulong che ha annunziato di occuparsi della ricerca della legge del calore specifico pei corpi composti sì solidi che gazosi, non ha ancor nulla pubblicato a tale riguardo.

---

(1) Così pel gaz acido carbonico, e pel gaz protossido d' azoto di cui un volume è formato di un volume d'uno de' gaz componenti, e $\frac{1}{2}$ volume dell' altro (ammettendo pel carbonio la densità del vapore secondo Berzelius), il calore specifico calcolato secondo questa regola dee essere $\sqrt{1,5}=1,225$: le sperienze di Dulong danno 1,243 pel primo, e 1,227 pel secondo. Pel gaz ossido di carbonio di cui un volume è formato di $\frac{1}{2}$ volume di ciascuno dei due gaz componenti, la regola dà $\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}}=\sqrt{1}=1$. Dulong ha trovato 0,984. Pel gaz oleifico di cui un volume è formato di un volume d'uno de' gaz componenti, e due dell' altro la regola dà $\sqrt{3}=1,732$; Dulong ha trovate 1,754. Bisogna ritenere che i calori specifici di cui si tratta sono quelli dei gaz sotto volume costante, cioè di cui si suppone impedita la dilatazione che il calore tende a produrvi, prendendo per unità quello d'un ugual volume pur esso costante d'un gaz semplice qualunque, o dell' aria che è un miscuglio di due gaz semplici. I calori specifici dei gaz sotto pressione costante, sotto cui essi si dilatano pel calore, prendendo per unità quello d'un ugual volume d'aria nello stesso caso, si ottengono poi, secondo quello che Dulong ha stabilito, aggiungendo ai primi 0,421, e dividendo quindi per 1,421.

Io avea già fatto più anticamente (1.re *Memoire sur la densite dès corps solides et liquides. Mem. dell' Accad. di Torino T. XXX.*) un saggio d' ipotesi di questo genere, ma io non l' avea applicata che all' acqua sola, e il risultato approssimato che io ne avea ottenuto, non potea in alcun modo autorizzarci a farne una legge generale.

Essendomi poi risolto a spingere più oltre su questo punto le mie ricerche, mi si è presentata la necessità di far loro servire di base la cognizione dei calori specifici del più gran numero possibile di corpi composti, paragonati con quelli de' loro componenti allo stato solido o liquido. Molti Fisici si sono occupati in diversi tempi della determinazione sperimentale di questi calori specifici, e per non più parlare del lavoro di Dulong e Petit sulle sostanze metalliche, di cui già si è fatta menzione, basta richiamare a questo riguardo quelli di Wilke, Gadolin, Crawford, Dalton, Lavoisier e La Place, Clement e Desormes ecc. Ma questi lavori non essendo stati diretti da alcuna vista connessa colla teoria atomistica, e tendente alla risoluzione della quistione di cui quì dobbiamo occuparci, i loro risultati lasciano molte lacune, e mentre per una parte essi comprendono molte sostanze che per la natura complicata della loro composizione, o di semplici mescolanze in proporzioni indeterminate non ci presentano alcun ajuto pel nostro scopo, essi ci lasciano nell'ignoranza relativamente a molti altri corpi di cui il calore specifico è d' una grande importanza a conoscersi relativamente all' oggetto che ci proponiamo. Altronde questi risultati quali sono indicati dai diversi autori, presentano spesso considerevoli discordanze per ciascuna sostanza, le quali si debbono senza dubbio attribuir in parte all' imperfezione dei procedimenti adoperati per trovarli, ma pajono sopra tutto dipendere dallo stato impuro delle sostanze sulle quali gli autori hanno sperimentato.

In tale circostanza io fui naturalmente indotto, dal desiderio di ottenere dati più compiuti, e più sicuri per le mie

ricerche teoriche, ad intraprendere io stesso una serie d'esperienze sul calore specifico de' diversi corpi.

Tra i diversi procedimenti che sono stati adoperati o proposti per quest' oggetto, ho scelto il più semplice ed immediato, quello che consiste a determinare di quanti gradi un corpo proposto, sotto una data massa riscalda una massa pur data e costante d' uu corpo particolare, qual è l' acqua, di cui si prende il calore specifico per unità, mentre si raffredda esso medesimo d' un certo numero di gradi conosciuto. Ma ho cercato di perfezionare questo procedimento in maniera che fosse applicabile ad ogni sorta di sostanze, solide o liquide, in massa, o polveree, solubili o non nell' acqua ecc., e sempre sotto lo stesso volume, e forma esterna, ed ho anche procurato di applicarvi con un calcolo approssimativo tutte le correzioni indispensabili relative alla dissipazione del calore nell' aria, alla diversità di temperatura tra il corpo posto in esperienza, e l' acqua in cui esso fu immerso, quando questa è giunta al suo massimo di temperatura ecc.

Il metodo fondato su tempi richiesti pel raffreddamento d' un certo numero di gradi nell' aria, metodo che alcuni Fisici, e particolarmente i Signori Dulong e Petit hanno recentemente preferto ad ogni altro, sarebbe stato difficilmente applicabile a corpi di facoltà conduttrici interne sì diverse, e talvolta sì piccole, come quelli su cui io dovea operare, e che per parlare dei soli corpi solidi, di cui io mi sono quasi esclusivamente occupato, si trovavano in istati di tessitura, e di divisione affatto diversi, e così suscettibili di contatto più o meno intimo col comune inviluppo di cui doveano pur circondarsi per rendere i risultati indipendenti dalla diversità di figura, e di facoltà raggianti delle superficie.

Mi sono procurato le sostanze sulle quali ho sperimentato, nello stato della più grande purezza, che mi fu possibile e di natura ben determinata, e mi fu in ciò di grande ajuto la gentilezza dei Signori Michelotti e Lavini Professori di chimica, e del Sig. Borson Professore di mineralogia, di cui i

primi mi hanno somministrato molte sostanze preparate, sovente sotto ai miei occhi, nel laboratorio annesso alla Scuola di Chimica Farmaceutica, e l'ultimo diversi minerali tratti dalla collezione del R. Museo.

Classificando poi, e paragonando tra loro i risultati sia ottenuti dalle mie sperienze, sia indicati da altri Fisici sui calori specifici de' diversi corpi composti, ho fatto diverse prove per collegarli con qualche legge dipendente dalla composizione, e costituzione che si poteva attribuire ai loro atomi; e mi lusingo di avere stabilito con qualche probabilità che questa legge non è essenzialmente diversa da quella che ho fatta osservare nella sopra citata nota, nel *Bulletin* di Ferussac pei corpi allo stato gazoso, e che io aveva da principio creduta propria a questo stato soltanto; cioè *che il calore specifico d' un atomo di corpo composto è uguale alla radice quadrata del numero intiero o rotto esprimente gli atomi o porzioni d' atomo, che concorrono alla formazione di quest' atomo del corpo composto, quale esso si trova allo stato solido o liquido, prendendo per unità il calore specifico appartenente all'atomo d'un corpo semplice qualunque in questo stesso stato.* Questa regola però offre nella sua applicazione ai corpi solidi e liquidi una difficoltà che non ha luogo pei corpi gazosi, in cui la composizione in atomi o volumi gazosi è data dall' osservazione medesima: cioè quella di sapere quale sia realmente la composizione e costituzione dell'atomo composto del corpo che si considera, allo stato solido, e che, secondo le conseguenze a cui io sono stato condotto dalle mie considerazioni, è sovente diversa da quella che ha luogo per lo stesso corpo allo stato di vapore o di gaz.

Del rimanente è ben inteso che supponendo anche identità di costituzione negli atomi, i calori specifici de' corpi solidi e liquidi non sono immediatamente comparabili a quelli che convengono ai corpi in istato di gaz; ma le osservazioni stesse permettono di stabilire, nelle ipotesi che si addottano, il rapporto approssimato delle due unità che

servono di base alla legge per ciascuna di queste due classi di corpi. Dico il rapporto *approssimato*, poichè io sono sempre nella persuasione che quest' unità non è che prossimamente costante pei diversi corpi non gazosi, e che essendo essa sopratutto alquanto diversa secondo che si considerano i corpi allo stato solido, o liquido, essa dee pure presentare differenze più o meno sensibili, secondo la diversità di coesione, ed altre cricostanze dell' aggregazione nei corpi presi anche in ciascuno di questi due stati; cagioni d' inesattezza nell' applicazione della legge, che non esistono nei gaz presi sotto una stessa pressione e temperatura.

La comparazione inoltre del calore specifico de' corpi semplici, compreso il carbonio, di cui i Sig. Dulong e Petit non si erano occupati nello stabilimento della loro legge, sia tra loro, sia con quello dei loro composti, mi ha condotto ad una discussione sulla determinazione dei pesi atomistici dei corpi semplici stessi, per cui questi pesi per la maggior parte di essi, almeno quali essi si trovano allo stato solido, e relativamente al calore specifico (sotto la qual più precisa determinazione, gli atomi di questi corpi potrebbero chiamarsi *atomi termici*) si ridurrebbero alla metà di quelli che il Sig. Berzelius loro attribuisce attualmente, come già Berzelius istesso è stato condotto, senza dubbio particolarmente dalla considerazione de' risultati di Dulong e Petit sui metalli e sullo zolfo, ad adottar questi valori, che sono la metà soltanto di quelli che le semplici considerazioni chimiche lo aveano prima portato a loro attribuire. Queste determinazioni dei pesi degli atomi derivate dai calori specifici, le sole che siano esenti dall'arbitrario, che, come già ho osservato, lasciano le considerazioni chimiche riguardo ai corpi che non si possono ottenere allo stato gazoso, formano uno de' più importanti risultati della legge di Dulong e Petit, e dell' estensione che io ho cercato di darle nell' applicazione ai corpi solidi e liquidi composti.

Descriverò nella prima parte di questa memoria gli ap-

parecchi, ed i procedimenti, di cui mi sono servito per le mie sperienze, ed esporrò la maniera con cui ne ho calcolati i risultati: riferirò quindi questi risultati stessi, che paragonerò con quelli trovati da altri Fisici per quelle sostanze di cui troverò, che essi già si siano occupati. Nella 2.ª parte appoggiandomi a queste osservazioni dei calori specifici de' diversi corpi, tratterò delle considerazioni relative alla legge atta a rappresentare i calori specifici de' corpi composti paragonati con quelli de' loro componenti, ed entrerò nella discussione de' punti di teoria atomistica connessi con queste considerazioni.

PARTE I.ª

DETERMINAZIONE SPERIMENTALE DEI CALORI SPECIFICI DE' DIVERSI CORPI.

§. 1.° *Scelta del metodo per questa determinazione.*

I metodi che furono fin quì adoperati per la determinazione de' calori specifici de' corpi solidi e liquidi sono di due specie. Essi consistono o nel misurare un effetto calorifico, sia di liquefazione, sia di riscaldamento d' una massa di sostanza data, prodotto dal calorico perduto dal corpo sù cui si sperimenta, mentre questo si raffredda d'un certo numero di gradi; o nel determinare la rapidità del raffreddamento del corpo di cui si tratta per un eccesso dato della sua temperatura sopra quella dell' aria e dei corpi circostanti, prendendo le precauzioni convenienti per rimuovere l'influenza della differenza di poter conduttore, e di facoltà raggiante. Quest' ultimo metodo è stato particolarmente impiegato dai Signori Dulong e Petit nelle loro esperienze, che servirono di base alla legge del calore specifico degli atomi de' corpi semplici, e pare aver loro dati risultati d' una grande precisione. Ma come già ho accennato, questo metodo sarebbe stato poco conveniente

alle mie esperienze. Infatti i risultati ottenuti con questo mezzo non sono liberati dagli errori che proverrebbero dalla differenza del poter conduttore, se non in quanto vi si adoperano piccole masse, per cui si può fare astrazione da questa differenza, quando questo poter conduttore è molto considerevole, come pei metalli, sui quali si aggirarono quasi esclusivamente le sperienze di Dulong e Petit; ma ciò non sarebbe applicabile a sostanze di piccolo poter conduttore, come la maggior parte di quelle, di cui io debbo quì occuparmi. Altronde la natura di queste sostanze avrebbe sempre richiesto, per evitare l' effetto della differenza di facoltà raggiante delle superficie l' uso d' un inviluppo solido, che avrebbe ancora complicate le basi del calcolo.

Ho dunque preferta la prima maniera di procedere, e mi sono anche attenuto, per l'effetto calorifico da misurarsi, all'elevazione di temperatura, prodotta in un corpo di massa, e di natura data, metodo che non richiede che operazioni semplici, e osservazioni facili a farsi, e che è pure il metodo più anticamente adoperato per quest' oggetto, come da Wilke, Crawford ecc. Lavoisier e La Place hanno creduto poter sostituire al semplice riscaldamento d' un corpo di massa data, la liquefazione d' una certa quantità di ghiaccio; ma l' uso del calorimetro che essi hanno inventato per l' applicazione di questo principio si è trovato soggetto a difficoltà pratiche, che hanno distolto i fisici dal servirsene dopo loro nelle ricerche di cui si tratta.

Il metodo che ho impiegato è dunque quello che è talvolta indicato col nome di *metodo delle mescolanze*, sebbene questo nome non possa rigorosamente convenire se non a corpi liquidi che si mescolano tra loro a temperature diverse. Esso consiste essenzialmente nel riscaldare il corpo su cui si vuole sperimentare, d' un certo numero di gradi; nell'immergerlo in una massa determinata d'acqua di una temperatura conosciuta; e nell'osservare quale è il numero di gradi di temperatura communicati all'acqua dal raffreddamento che il corpo vi subisce.

Ma per poter esperimentare in una maniera comparabile sopra corpi diversi di cui alcuni non si possono ottenere che sotto forma polverea, altri sono solubili nell'acqua ecc. resta necessario di rinchiuderli tutti in un recipiente o vaso, che si possa chiudere in maniera, che l'acqua non vi penetri. Si dee allor tener conto dell'effetto calorifico prodotto dal raffreddamento di quest'inviluppo, il che è facile quando si conosca per mezzo di altre sperienze il calore specifico della materia di cui esso è composto. Questa correzione è dello stesso genere di quella che si dee pur anche applicare per l'effetto calorifico impiegato a riscaldare la materia del vaso contenente l'acqua, in cui si fa il raffreddamento, per la qual correzione può sostituirsi a questo vaso col pensiero una quantità d'acqua equivalente, quando si conosce il suo peso, e il calore specifico della sua sostanza.

Un'altra correzione, di cui si sentì la necessità fin dai primi tempi in cui si fece uso di questo procedimento, è quella relativa alla parte di calorico che si dissipa nell'aria, e ne' corpi circostanti, a misura che l'acqua ed il vaso che la contiene si riscaldano; non è difficile di calcolare approssimativamente questa correzione in seguito a sperienze preliminari, nel tempo che questo vaso riempiuto d'acqua ad una temperatura data impiega a raffreddarsi d'un certo numero di gradi.

Ma ciò che vi ha di più essenziale in questo metodo consiste nel conoscere esattamente. 1.° La temperatura del corpo sottoposto alla sperienza nel momento in cui esso viene immerso nell'acqua, a cui esso dee comunicare il suo calore. 2.° La temperatura di quest'acqua avanti l'immersione del corpo, e di nuovo al momento in cui si termina la sperienza. 3.° La temperatura a cui si trova in quest'ultimo istante il corpo, di cui si vuole determinare il calore specifico.

Il primo di questi elementi può essere conosciuto con sufficente esattezza, tenendo per un certo tempo il recipiente che contiene il corpo su cui si opera, nell'acqua bollente;

esso vi prenderà una temperatura uguale, o poco inferiore a quella dell' ebullizione dell' acqua, a cui bisognerà solo fare una piccola diminuzione per la perdita inevitabile di calorico, che dee succedere nel trasporto di questo recipiente dall'acqua bollente nell' acqua fredda che dee riscaldarsi a spese del medesimo corpo.

Non è nè anche difficile la determinazione della temperatura dell' acqua in cui si è immerso il recipiente al principio, ed a un' epoca qualunque della sperienza; basta porre in quest' acqua un termometro a serbatojo cilindrico di dimensioni le più piccole che sia possibile, e di osservarlo ad intervalli di tempo qualunque; la materia stessa del termometro dovrà considerarsi come formante parte del vaso esterno, e compresa nella correzione dovuta alla presenza ed al riscaldamento di questo.

Quanto al terzo punto pare che in generale i fisici si siano contentati finquì di osservare il massimo d'elevazione di temperatura dell' acqua, e di supporre che la stessa temperatura fosse allora comune all' acqua, e al corpo, che vi si trova immerso. Ora egli è evidente che questa supposizione non è esatta, poichè la temperatura dell' acqua cessa di crescere, quando la perdita di calorico che fa l'acqua a ciascun istante, in virtù dell' eccesso della sua temperatura attuale sopra quella dell' aria ambiente, è uguale alla quantità di calorico che il corpo in essa immerso le comunica nello stesso tempo; il che suppone che la temperatura di questo corpo è allora un po' superiore a quella dell' acqua, come quella dell'acqua è superiore a quella dell' aria. Si vorrebbe forse tentare di giungere direttamente alla cognizione della temperatura del corpo, sia quando quella dell' acqua è pervenuta al suo massimo, sia ad un' altr' epoca qualunque in cui si giudicasse di finir la sperienza, fissando nell' interno della massa di questo corpo la palla d' un termometro; ma la massa di questo termometro avendo necessariamente una grandezza comparabile, o superiore a quella del corpo medesimo, e una facoltà con-

duttrice diversa, non potrebbe dare che indicazioni affatto infedeli della temperatura media del corpo a ciascun istante; e sarebbe inoltre difficile di fare in maniera esente da gravi errori la correzione che sarebbe dovuta alla massa di questo termometro, e che aggrandirebbe eccessivamente quella già dovuta alla massa dell' inviluppo o recipiente del corpo. Egli è dunque preferibile di dedurre, per mezzo d' un calcolo approssimativo la temperatura di cui si tratta dalla temperatura stessa a cui l' acqua è giunta nel suo massimo riscaldamento, avuto riguardo alle circostanze stesse in cui si opera; tanto più che la differenza di temperatura tra il corpo, e l'acqua in quest' istante non può essere molto considerevole, se, come ciò succede generalmente in queste sperienze, la massima temperatura dell' acqua non è ella stessa molto elevata al disopra della temperatura dell' aria. Indicherò quì appresso i principii che ho seguiti per questo calcolo approssimativo, come pure per le altre correzioni di cui ho sopra richiamata la necessità; ma comincierò a descrivere l' apparecchio di cui mi sono servito, e la maniera con cui ho operato.

§. II.°

Descrizione dell' apparecchio e maniera di servirsene.

Il piccolo vaso o recipiente di cui ho parlato, destinato a contenere le sostanze che si pongono in esperienza è rappresentato in ABCD, a un dipresso di grandezza naturale, esso è cilindrico, di altezza alquanto maggiore del diametro, e costrutto di sottil lamina d' ottone; è intieramente aperto superiormente, e l'orlo del suo orifizio è guernito d'un anello piano pur d'ottone. Accanto a quest' anello in tre luoghi del suo contorno, sono fissate tre piccole viti maschie, sporgenti al disopra di esso, a, a', a''. La lastra d'ottone EFG ben piana, circolare, ma con tre appendici in E, F, G in cui essa è traforata da tre fori b, b', b'', può applicarsi esatta-

mente sull' annello piano del vaso ABCD, lasciando passare pei fori le viti a, a', a'', sulle quali si fanno entrare al disopra le tre chiocciole c, c', c''. Frapponendo tra la lastra e l'orlo del vaso un disco di pelle sottile bagnata od inoliata, e traforata essa pure ne' luoghi corrispondenti alle tre viti, e stringendo sopra della lastra le tre chiocciole, si può chiudere esattamente il vaso dopo avervi introdotta la sostanza sù cui si vuole sperimentare, e togliere ogni accesso all' acqua in cui esso dee immergersi. La lastra in mezzo della sua faccia superiore ha un piccolo gambo piano e per cui si può prendere con mollette, onde estrarre il vasetto dall' acqua bollente, e trasportarlo nel vaso contenente l'acqua a cui dee comunicare il suo calore. Il vasetto è guernito al dissotto di tre piedi di lastra d' ottone, che lo tengono alquanto sollevato al disopra del fondo del vaso esterno in cui s' immerge.

Questo vaso esterno HILM, che dee contener l' acqua alla temperatura ordinaria, è anch'esso formato di lamina sottile d' ottone, ed ha un diametro e un' altezza tale, che immergendovi il vasetto, questo vi resti circondato da ogni parte d' uno strato d' acqua di circa un centimetro di grossezza, e che l'acqua elevandosi affatto vicino all' orlo HI copra intieramentre le tre chiocciole c, c', c'', che si trovano sopra al coperchio del vasetto. Questo vaso esterno è anch' esso sostenuto da tre piedi che l'impediscono di toccare col suo fondo la tavola su cui si posa.

S' immerga nell' acqua di questo vaso avanti la sperienza un piccolo termometro a mercurio RS, con serbatojo cilindrico, e che ha la scala sopra una lamina sottile d' ottone traforata nel luogo del serbatojo, affinchè questo sia circondato dall' acqua da ogni parte. Questo termometro si applica verticalmente alla parete interna del vaso, come si vede nella figura, in maniera che quando vi sarà immerso il vasetto ABCD, il serbatojo si trovi tra questo, e le pareti del vaso esterno, estendendosi per un' altezza a un dipresso uguale a quella del vasetto stesso. Si è segnata interiormente al dissotto dell' or-

lo del vaso esterno una linea PQ tutt' all' intorno, sino alla quale si è verificato antecedentemente, che esso dee riempiersi d'acqua, perchè immergendovi il termometro, e quindi il vasetto, l' acqua si elevi, come si è detto sino quasi all'orlo, cioè alla distanza di circa un millimetro.

Il calcolo delle sperienze richiede che si conosca il peso sia dell' acqua contenuta nel vaso esterno, sia del vaso esterno stesso, e del vasetto col suo coperchio, e chiocciole, e pelle frapposta, e che si riduca il peso di questi vasi al suo equivalente in acqua, secondo il calore specifico conosciuto dell' ottone prendendo per unità quello dell' acqua. Conviene pure conoscere i pesi delle diverse parti del termometro, cioè del suo serbatojo e tubo di vetro, del mercurio che vi è contenuto, e della scala d' ottone, e ridurre anche questi pesi al loro equivalente in acqua.

I pesi di queste diverse parti, e i loro equivalenti in acqua nell' apparecchio che io ho adoperato si trovarono i seguenti. Peso del vaso esterno co' suoi piedi, in ottone, grammi 46,34; moltiplicando per 0,095 calore specifico dell' ottone, si ha 4^{gram}, 40 pel suo equivalente in acqua.

Peso del vasetto co' suoi piedi, viti, coperchio, e chiocciole 19^{gram},68, che moltiplicati per 0,095 danno 1^{gram},87 per l' equivalente in acqua.

Ho trovato il peso medio del disco di pelle bagnata od inoliata, che bisognava cangiare in tutte le sperienze, circa 0^{gram}, 6, che ho creduto poter considerare come avente per intiero lo stesso calore specifico dell' acqua. Mi sono assicurato inoltre con esperienze preliminari che non si poteva estrarre rapidamente il vasetto dall' acqua bollente, e trasportarlo nel vaso contenente l'acqua fredda, senza portar via con esso, aderente alle sue pareti e appendici prominenti, una quantità d' acqua di circa un grammo di peso; onde conviene aggiungere al peso del vasetto, ridotto in acqua 1^{gram}, 6, e così portarlo in tutto a 3^{gram}, 47, od in numero tondo a 3^{gram}, 5.

Il peso del termometro intiero colla sua scala si è trovato di 43^{gram}, 33: e con un calcolo approssimativo fondato sul volume di ciascuna parte ho valutato su questi 43^{gram}, 33, il peso della scala d'ottone a 25^{gram}, 5, quello del tubo col serbatojo di vetro a 6^{gram},67; e quello del mercurio in esso contenuto a 11^{gram}, 16. Il calore specifico dell'ottone essendo supposto 0,095 come sopra; quello del vetro 0,188, e quello del mercurio 0, 029, si ha per l' equivalente di queste tre parti del termometro in acqua:

Per la scala d' ottone	25,50. 0,095	= 2, 42
Pel tubo, e serbatojo	6,67. 0,188	= 1, 25
Pel mercurio	11,16. 0,029	= 0, 32
	Totale	3, 99

e così in tutto a un dipresso 4 grammi. Ma bisogna osservare che la metà circa del peso del termometro cioè il tubo, ed una gran parte della scala restano fuori dell' acqua nell'esperienza; se si suppone per approssimazione che questa metà non prende che la metà dell' eccesso di temperatura sull' aria ambiente, a cui giunge l'acqua del vaso riscaldata dal corpo che vi s' immerge, si avrà circa un quarto dell' accennata quantità a sottrarre, e così il numero di grammi d' acqua, a cui si può paragonare il termometro in questa circostanza, è di tre grammi soltanto. Queste approssimazioni potrebbero riputarsi un po' arbitrarie; ma conviene osservare che esse non cadono che sopra quantità che formano esse medesime una piccola porzione soltanto della massa d'acqua contenuta nel vaso, e alle quali non si ha riguardo che per modo di correzione.

Aggiungendo adunque questi tre grammi ai 4,40 equivalenti della sostanza del vaso esterno in acqua, si hanno 7,40 per l' equivalente in acqua, del peso del vaso, e del termometro presi insieme, e da unirsi col peso dell'acqua che il vaso contiene.

Questo peso dell' acqua contenuta nel vaso riempiuto sino al livello di cui sopra si è parlato, si è trovato di 140^{gram}, 12; aggiungendovi li 7^{gram}, 40 si ha 147^{gram}, 52, ossia 147 grammi e mezzo pel peso totale d'acqua equivalente a tutta la massa, che nelle nostre sperienze si riscalda a spese del vasetto, e della sostanza che vi è contenuta.

Nelle sperienze di cui si tratta bisogna riempiere il vasetto sino all'orlo, della sostanza di cui si vuole determinare il calore specifico, comprimendola se polverea, in maniera da farvene capire la maggior quantità possibile, assicurarsi con una pesatura del peso di questa quantità introdotta, chiudere l'orifizio del vaso col suo coperchio, pelle umida od inoliata, e chiocciole, come sopra si è detto, e tenere quindi il vaso per un tempo sufficiente in un altro vaso pieno d'acqua in ebullizione, perchè vi prenda esso medesimo, colla sostanza che vi è contenuta la temperatura dell'acqua bollente, o almeno una temperatura prossimamente fissa. Io mi sono convinto con esperienze preliminari, in cui io introduceva nel centro del vasetto riempiuto d'una sostanza qualunque la palla d'un piccolo termometro senza scala, di cui il tubo sporgeva fuori del coperchio attraverso ad un turacciolo di sovero adattato ad un foro del coperchio medesimo (che io adoperava allora in vece del coperchio ordinario), che anche mettendo il vasetto nell'acqua avanti di riscaldarlo, e lasciandovelo immerso sino all'ebullizione di questa, la temperatura della sostanza difficilmente giungeva anche dopo un tempo notabile di continuata ebullizione a 100° C giusti, cosicchè nelle circostanze ordinarie delle mie sperienze si poteva supporre questa temperatura, al momento in cui io estraeva il vasetto, di due o tre gradi inferiore a quella dell'ebullizione. Per altra parte ho trovato per mezzo di altre sperienze, che si dovea pur calcolare a due o tre gradi la perdita di temperatura del vasetto, nel breve intervallo di tempo richiesto pel trasporto del medesimo dall'acqua bollente in quella del vaso esterno dell'apparecchio, onde si potea senza error sensi-

sibile supporre, per una media, che la temperatura del vasetto e della sostanza posta in esperienza, fosse di 95° C al momento della sua immersione.

La temperatura dell' acqua del vaso esterno al momento che vi s' immergea il vasetto, era determinata, come ho già detto dal piccolo termometro che vi stava dentro. Io aveva cura di versar l' acqua nel vaso, e mettervi il termometro qualche tempo avanti la sperienza, perchè la temperatura si equilibrasse bene tra l' acqua, le pareti del vaso, ed il termometro. Alcune volte la temperatura dell' acqua era quella stessa dell' aria ambiente: ma non avrei potuto astringermi a soddisfar sempre a questa condizione, se non lasciando lunghissimo tempo il vaso ripieno d'acqua esposto all'aria della camera in cui operava. Nella maggior parte de' casi la temperatura dell' acqua differiva di uno a due gradi da quella dell' aria, a cui essa era ordinariamente inferiore, sopratutto nell'estate; la correzione per la dissipazione del calore nel tempo della sperienza, di cui parlerò quì appresso, richiedeva allora che si conoscesse separatamente la temperatura iniziale dell' acqua, e la temperatura attuale dell' aria; io notava dunque l' una e l' altra; quest' ultima non variava sensibilmente nella durata della sperienza, che non eccedeva in generale un quarto d' ora o venti minuti, e a tal fine io non portava il fornellino in cui faceva bollir l' acqua, nella camera dell' esperienza, se non al momento in cui dovea estrarre il vasetto dall' acqua bollente, e ne lo faceva portar via subito dopo quest' estrazione.

Fatta l' immersione io notava di minuto in minuto la temperatura indicata dal termometro collocato nel vaso esterno; questa temperatura saliva da principio rapidamente, poi molto lentamente, ed essa giungeva ordinariamente dopo 8 o 10 minuti al suo massimo, che era al più di 7 od 8 gradi al disopra della temperatura iniziale nelle sperienze in cui l'effetto calorifico del corpo impiegato era il più grande. La determinazione dell' istante di questo massimo, necessaria per la

correzione dovuta alla dissipazione del calore nell'aria, si faceva prendendo il mezzo tra i due tempi in cui la temperatura si trovava sensibilmente la stessa, avanti e dopo il massimo. Siccome il termometro restava verso il tempo di questo massimo sensibilmente stazionario per alcuni minuti, si avea il tempo di osservarlo molto esattamente. Io terminava la sperienza tosto che il termometro era visibilmente in istato di attuale abbassamento.

Il calcolo della correzione per la dissipazione del calore del vaso esterno e dell' acqua, pendente l' esperienza, richiedeva, che oltre ai dati precedenti si conoscesse il rapporto tra la perdita di calorico che si faceva dall' apparecchio a ciascun istante, e l'eccesso attuale della temperatura del vaso e dell' acqua sopra quella dell'aria e de' corpi circostanti. Da sperienze fatte separatamente per tale oggetto , e in cui per operare nelle stesse circostanze delle sperienze sul calore specifico, ho fissato nell' interno del vaso dell'apparecchio pieno d' acqua, e col suo termometro il vasetto chiuso , ma vuoto d' ogni sostanza , mi risultò che la perdita di temperatura nell' apparecchio era di 0°, 0204. C in un minuto ossia di 0°, 00034 C, in un minuto secondo per ogni grado di eccesso della sua temperatura sopra quella dell'aria , e de' corpi circostanti ; che quindi per avere la perdita di temperatura del vaso, e dell' acqua contenuta ad una temperatura di elevazione abbastanza piccola, ed in un intervallo di tempo abbastanza breve, perchè il suo eccesso di temperatura sopra quella dell' aria ambiente si possa considerare come costante in quest' intervallo di tempo, e rappresentato dalla media tra l' eccesso iniziale e l' eccesso finale , bisognava moltiplicare 0,00034 pel numero di secondi di quest' intervallo di tempo, e pel numero di gradi che esprime quest' eccesso medio.

Oltre l' apparecchio sin quì descritto ne ho anche fatto costruire un altro dello stesso genere, ma di forma alquanto diversa , destinato principalmente a sperimentare sopra alcune sostanze dotate d'un calore specifico troppo piccolo, avu-

to riguardo al peso che il vasetto dell' apparecchio precedente potesse contenerne, per ottenerne risultati di qualche esattezza. Le dimensioni di questo nuovo apparecchio sono a un dipresso doppie del precedente, e la quantità di materia che può contenersi nel vaso interno è più considerevole relativamente, sia alla materia di questo vaso, sia alla quantità d'acqua contenuta nel vaso esterno. Il vaso interno, in vece di esser chiuso con una lastra a viti, è una specie di fiasco cilindrico di sottil lamina d' ottone guernito di un collo di cui si ottura l' orifizio con un semplice turacciolo di sovero, il che ne diminuisce di molto il peso relativamente alla sua capacità. Ho fatto per quest' apparecchio determinazioni analoghe a quelle sovra indicate pel primo, sia del peso delle diverse parti, sia dell' acqua contenuta nel vaso esterno, sia finalmente della rapidità della dissipazione del calore per un dato eccesso di temperatura.

Ho fatto poco uso di questo secondo apparecchio per le sperienze che formano l' oggetto di questa memoria: me ne sono però servito particolarmente, come si vedrà a suo luogo, per alcuni saggi sul calore specifico del ghiaccio relativamente a quello dell' acqua.

§. III.

Calcolo delle sperienze e correzioni ad esso relative.

Il calcolo del calore specifico d' un corpo qualunque sarebbe assai semplice, se le esperienze ci dessero immediatamente il riscaldamento che è prodotto in una data massa d' acqua dalla qualità di calorico perduta dal corpo di cui si tratta, anch' esso di massa data, mentre esso si raffredda d'un certo numero di gradi; ma il vaso e l'acqua che vi si contiene perdono continuamente, a misura che si riscaldano a spese del corpo che vi si è immerso, una parte del calorico che ricevono, disperdendolo nell' aria e ne' corpi circostanti; e

quanto al corpo sul quale si sperimenta, se, come abbiamo veduto, è possibile di conoscere approssimativamente la sua temperatura al momento dell' immersione, non è ugualmente facile il determinare quale sia la temperatura a cui esso si trova ridotto al momento in cui si finisce la sperienza, o, secondo la nostra maniera d'operare, al momento in cui l'acqua è giunta al massimo grado di temperatura che questo corpo le può comunicare. Tuttavia questa temperatura non può eccedere di molto quella stessa dell'acqua al suo massimo, la quale non è essa medesima, nelle circostanze in cui operiamo, elevata che di pochi gradi al disopra di quella dell'aria ambiente, e comunemente viene anzi risguardata nel calcolo di queste sperienze come uguale a quella dell' acqua; ma come già ho accennato, anche questo abbisogna d' una correzione. Io indicherò quì l' andamento del calcolo che ho creduto poter seguire, per dedurre dai risultati immediati delle sperienze il calore specifico delle sostanze esaminate, avendo riguardo, almeno in una maniera approssimata, a tutte le indicate circostanze.

Supporrò dapprima, per maggior semplicità dei ragionamenti, che la temperatura iniziale dell' acqua in cui il corpo si immerge sia la stessa che quella dell' aria, e de' corpi circostanti nel luogo in cui si fa l'esperienza; ritornerò quindi alla modificazione che la mancanza di questa condizione dee arrecare ai nostri calcoli.

Sia dunque T l' eccesso della temperatura del vasetto contenente la sostanza posta in esperienza, e di questa sostanza stessa sulla temperatura iniziale dell' acqua del vaso in cui s'immerge, e per conseguenza nella nostra attuale supposizione, anche sopra quella dell' aria, al momento dell' immersione; per abbreviare indicherò questi due vasi coi nomi di vaso A e vaso B. Sia inoltre T' il massimo di eccesso di temperatura che l' acqua del vaso B ha acquistato al disopra di quella dell' aria, nell' esperienza, e t il tempo espresso in secondi che essa ha impiegato a giungervi, dopo che il vaso

A vi è stato immerso. Si tratta primieramente di sapere approssimativamente quale sarebbe stato l' eccesso di temperatura acquistata dall' acqua, se la quantità di calorico che il corpo A le ha fornito vi fosse stata ritenuta per intiero senza dissiparsi, mentre realmente il vaso B ha dovuto perdere del calore pel contatto dell'aria, e pel raggiamento verso i corpi circostanti, a misura che si riscaldava. Siccome non si tratta quì che d' una piccola correzione, si può supporre per approssimazione che questa perdita sia uguale a quella che avrebbe avuto luogo, se l' acqua ed il vaso che la contiene avessero avuta, per tutto il tempo t l' eccesso di temperatura $\frac{1}{2}$ T', medio tra l' eccesso iniziale 0, e l'eccesso finale T'. Ora per mezzo d'una sperienza preliminare si può sapere qual è la diminuzione di temperatura, che il vaso B e l'acqua provano in un secondo di tempo per ciascun grado di eccesso di temperatura sopra i corpi circostanti. Si è veduto, che pel nostro apparecchio per esempio, questa diminuzione è di 0,00034 di grado centesimale; indicando questa quantità colla lettera a, avremo dunque nel nostro caso, per l' eccesso medio $\frac{1}{2}$ T' di temperatura, supposto costante, una diminuzione di $\frac{1}{2}$ aT' per secondo, e conseguentemente di $\frac{1}{2}$ aT't nel numero t di secondi, che l'esperienza ha durato. Se dunque non fosse accaduta la dissipazione del calore nell' aria, l' eccesso di temperatura acquistato dall' acqua osservato solo di T', sarebbe stato di

$$T' + \tfrac{1}{2} a T' t \quad \text{ossia} \quad T'(1 + \tfrac{1}{2} a t).$$

Per calcolare ora approssimativamente l' eccesso di temperatura del vaso o corpo A al fine della sperienza sulla temperatura dell' acqua del vaso B, eccesso che, come abbiamo detto, l' osservazione non ci dà immediatamente, consideremo, che al fine dell' esperienza, epoca del massimo di temperatura acquistata dall' acqua, il corpo dee fornire all'acqua in un tempo piccolissimo, come per esempio in un secondo,

una quantità di calorico tale da riscaldarla d'una quantità uguale a quella di cui si raffredda in virtù dell'eccesso finale T′ della sua temperatura finale sopra quella dell'aria ambiente, cioè da riscaldarla di aT' in un secondo. Si tratta dunque di determinare l'eccesso di temperatura che il corpo A dee avere sopra quella dell'acqua, perchè ciò succeda. Chiamiamo T″ l'eccesso finale della temperatura del corpo A sopra quella dell'aria, e per conseguenza T″—T′ l'eccesso che si vuol determinare della temperatura del corpo sopra quella dell'acqua, l'eccesso iniziale di temperatura dello stesso corpo sopra quella dell'acqua o dell'aria essendo T, e l'eccesso finale del medesimo sopra quella dell'acqua T″—T′, si può considerare per approssimazione l'eccesso medio della temperatura del corpo sopra quella dell'acqua in tutta la durata t dell'esperienza, come espresso da $\frac{T+T''-T'}{2}$, ed in questa circostanza il corpo ha dato all'acqua una quantità di calorico tale da riscaldarla in tutto, secondo quello che si è detto, di $T'+\frac{1}{2}aT't$; d'onde segue che con questo stesso eccesso di temperatura la avrebbe riscaldata di $\frac{T'+\frac{1}{2}aT't}{t}$ in un secondo di tempo. Per sapere adunque qual è l'eccesso di temperatura T″—T′ che il corpo dee avere sull'acqua per riscaldarla di aT' in un secondo, bisogna fare la proporzione

$$\frac{T'+\frac{1}{2}aT't}{t} : aT' :: \frac{T+T''-T'}{2} : T''-T';$$

d'onde

$$T''-T' = \frac{a(T+T''-T')t}{2+at};$$

che si riduce a

$$T'-T' = \frac{aTt}{2};$$

vale a dire, secondo quest'approssimazione l'eccesso della temperatura restante nel corpo A al disopra della temperatu-

ra finale dell'acqua, è la stessa porzione dell'eccesso iniziale T del corpo, che la perdita di temperatura dell'acqua nell'aria, pendente la sperienza, lo è dell'eccesso finale T′ dell'acqua sopra l'aria. Questa quantità $\frac{aTt}{2}$ è quella che si trascura quando si suppone la temperatura finale del corpo uguale a quella dell'acqua.

Da questo valore di T″—T′ si ha subito quello di T″ ossia dell'eccesso finale della temperatura del corpo sopra quella dell'aria, cioè $T'' = \frac{aTt}{2} + T'$.

Secondo questo valore di T″, la perdita di temperatura che il corpo A ha fatta è uguale a $T - T' - \frac{aTt}{2}$. Abbiamo veduto che l'aumento di temperatura che l'acqua avrebbe preso per la stessa quantità di calorico, se niuna porzione se ne fosse dissipata nell'aria, sarebbe stata $T' + \frac{1}{2}aT't$. È facile dedurre da questo il calore specifico del corpo prendendo per unità quello dell'acqua, supponendo primieramente per un momento che il vaso A e la sostanza in esso contenuta non fosse che una sola massa di quest'ultimo, senz'alcun inviluppo, supponendo altronde il sistema del vaso B, dell'acqua in esso contenuta, e del termometro che si è immerso, già rappresentato per intiero dal suo equivalente in acqua nella maniera che sopra l'abbiamo indicato pel nostro apparecchio. Sia per questo *m* la massa supposta nota del corpo, prendendo per unità questo equivalente del sistema del vaso B in acqua, e *c* il calore specifico cercato del corpo prendendo per unità quello dell'acqua. La quantità di calorico necessaria per produrre l'aumento di temperatura $T' + \frac{1}{2}aT't$ nella quantità d'acqua così presa per unità, sarà rappresentata da questo aumento medesimo di temperatura, e la quantità di calorico necessario per riscaldare il corpo di cui si tratta di $T - T' - \frac{aTt}{2}$ ossia quella che questo corpo ha dovuto perdere per raffred-

darsi di questa quantità, sarà $\left(T - T' - \frac{aTt}{2}\right) mc$. Dunque, uguagliando queste due quatità si avrà

$$\left(T - T' - \frac{aTt}{2}\right) mc = T' + \tfrac{1}{2} aT't,$$

d' onde

$$c = \frac{T' + \frac{1}{2}aT't}{m(T - T' - \frac{1}{2}aTt)} = \frac{T' + \frac{1}{2}aT't}{m(T(1 - \frac{1}{2}at) - T')} .$$

Se si fosse fatta astrazione dalla perdita di calorico fatta dall' acqua nel corso della sperienza, e si fosse inoltre considerata la temperatura finale del corpo come uguale a quella finale dell' acqua, cioè $T'' = T'$, si sarebbe avuto semplicemente $c = \frac{T'}{m(T - T')}$; e se si fosse bensì fatta la correzione per la perdita di temperatura, ma supponendo ancora la temperatura finale del corpo uguale a quella dell' acqua, si sarebbe avuto $c = \frac{T' + \frac{1}{2}aT't}{m(T - T')}$. Si vede che in quest' ultimo caso si sopprime il termine negativo $\frac{1}{2} aTt$ dato dalla nostra approssimazione nel denominatore del valore di c, il che aumenta questo denominatore, e diminuisce per conseguenza il valore di c; la supposizione di $T'' = T'$ dee dunque dare in generale valori di c troppo piccoli per le diverse sostanze.

Nel caso delle nostre esperienze il corpo riscaldato immerso nell' acqua del vaso B non è semplicemente il corpo, di cui si vuol determinare il calore specifico, ma la riunione di questo corpo col vasetto d'ottone che gli serve d'inviluppo, e di cui abbiamo quì sopra determinato l' equivalente della massa in acqua, nel nostro apparecchio. È facile ridurre questo equivalente ad aver per unità la massa intiera dell' acqua del vaso B, compreso l' equivalente del vaso stesso, e del termometro in acqua, dividendolo per questa massa. Così nel nostro apparecchio la massa del vasetto valutata in acqua, compresa la pelle umida od inoliata

frapposta tra il coperchio e l'orlo del medesimo essendo $3^{gram},5$ e quella del sistema del vaso B $147^{gram},5$, la massa di cui si tratta diviene $\frac{3,5}{147,5} = 0,0237$, espressa in quella unità. Chiamando M questa massa così ridotta, e di cui il calore specifico è anche supposto uguale all'unità, e ritenendo m per la massa del corpo contenuto nel vasetto, e che è l'oggetto della sperienza, e c pel suo calore specifico, bisognerà sostituire $mc+M$ ad mc solo nelle espressioni precedenti. Quindi si avrà

$$mc = \frac{T' + \frac{1}{2}aT't}{T - T' - \frac{aTt}{2}} - M, \quad \text{e} \quad c = \frac{T' + \frac{1}{2}aT't}{m\left(T - T' - \frac{aTt}{2}\right)} - \frac{M}{m}.$$

Tale è la formola assai semplice, con cui si può calcolare per approssimazione il calore specifico de' corpi, dai risultati delle nostre sperienze. Tuttavia, siccome la supposizione che l'eccesso medio della temperatura del corpo sopra quella dell'acqua nel corso della sperienza, sia la media aritmetica tra l'eccesso iniziale T e l'eccesso finale, supposizione che ci ha servito di base pel calcolo di quest'eccesso finale, potrebbe parer quì un'approsimazione insufficiente, trattandosi d'un eccesso di temperatura, che al principio è molto considerevole relativamente a ciò che esso diviene al fine, ho cercato un'altra maniera di calcolare quest'eccesso finale, che si approssimasse più al vero, non ritenendo la supposizione indicata che per la correzione della temperatura acquistata dall'acqua, ed ecco l'analisi che ho seguita per questa nuova approssimazione.

Sia y il valor generale, cioè per un istante qualunque, dell'eccesso di temperatura del corpo sopra quella dell'acqua, cosicchè T sia il valore iniziale di y e $T''-T'$ il suo valor finale. Supponendo la temperatura dell'acqua costante, e media tra l'iniziale e la finale, cioè il suo eccesso sulla temperatura iniziale della medesima uguale, come sopra, ad $\frac{1}{2}T'$, la legge di y relativamente al tempo, che dee essere almeno

approssimativamente quella conosciuta sotto il nome di legge di Newton, rappresentando in generale per x il tempo, che quì ha per valor iniziale o, e per valor finale t, sarà espressa, servendosi dei logaritmi neperiani dall'equazione

$$\log. y = \log.(T - \tfrac{1}{2} T') - bx,$$

b essendo una costante, che noi supporremo per ora ignota, dipendente dalla natura del corpo impiegato nell'esperienza. Infatti secondo la legge differenziale di Newton, la perdita di temperatura in un elemento di tempo dx essendo proporzionale all'eccesso attuale di temperatura, è espressa da $bydx$, ossia si ha per la variazione di quest'eccesso, $dy = -bydx$, onde $\frac{dy}{y} = -bdx$, e integrando $\log.y = -bx + \text{cost.}$ Nel nostro caso poichè $y = T - \frac{1}{2}T'$ quando $x = o$, si ha $\log.(T - \frac{1}{2}T')$ pel valor della costante, il che dà l'espressione indicata di $\log.y$. Quest'espressione può mettersi sotto la forma

$$y = e^{\log.(T - \frac{1}{2}T') - bx},$$

e indicando la base dei logaritmi neperiani. Per aver ora l'eccesso medio della temperatura del corpo sopra quella dell'acqua, ossia il valor medio di y in tutta la durata dell'esperienza, conviene integrare la quantità $(e^{\log.(T - \frac{1}{2}T') - bx})\,dx$ da $x = o$, sino a $x = t$, e dividere l'integrale per t, valor finale di x. Rappresenteremo per abbreviare questa quantità da integrarsi con $e^{A - bx}.\,dx$, facendo cioè $A = \log.(T - \frac{1}{2}T')$. Ora

$$\int e^{A - bx} dx = e^{A} \int (e^{-b})^{x} dx = e^{A} . \frac{(e^{-b})^{x}}{\log. e^{-b}} + \text{cost.}$$

$$= -\frac{1}{b} e^{A - bx} + \text{cost.}$$

Quando $x = o$, quest'integrale diviene $-\frac{1}{b} e^{A} + \text{cost.}$ la co-

stante è dunque $+\frac{1}{b}e^{A}$, e l'espressione generale, dell'integrale che dee cominciar da questo punto, diviene $\frac{1}{b}(e^{A}-e^{A-bx})$; facendovi $x=t$ si ha per l'integrale compiuta cercata $\frac{1}{b}(e^{A}-e^{A-bt})$, o rimettendo il valore di A

$$\frac{1}{b}\left(e^{\log.(T-\frac{1}{2}T')}-e^{\log.(T-\frac{1}{2}T')-bt}\right)$$

ossia

$$\frac{1}{b}\left(e^{\log.(T-\frac{1}{2}T')}-\frac{e^{\log.(T-\frac{1}{2}T')}}{e^{bt}}\right.$$

che si può mettere sotto la forma

$$\frac{1}{b}(T-\tfrac{1}{2}T')\left(1-\frac{1}{\text{numero}(\log.=bt)}\right)$$

i logaritmi essendo sempre neperiani. Quindi l'eccesso medio della temperatura del corpo sopra quella dell'acqua del vaso esterno sarà $\frac{T-\frac{1}{2}T'}{bt}\left(1-\frac{1}{\text{num.}(\log.=bt)}\right)$. Ora poichè con questo eccesso medio il corpo ha riscaldato l'acqua di $T'+\frac{1}{2}aT't$ in t secondi; ossia di $\frac{T'+\frac{1}{2}aT't}{t}$ per ciascun secondo, si avrà, come sopra, l'eccesso in virtù di cui dee riscaldarla di aT' per ciascun secondo, cioè l'eccesso finale $T''-T'$, per mezzo della proporzione

$$\frac{T'+\frac{1}{2}aT't}{t}:aT'::\frac{T-\frac{1}{2}T'}{bt}\left(1-\frac{1}{\text{num.}(\log.=bt)}\right):T''-T',$$

d'onde

$$T''-T'=\frac{a(T-\frac{1}{2}T')}{b(1+\frac{1}{2}at)}\left(1-\frac{1}{\text{num.}(\log=bt)}\right).$$

In quest'espressione dell'eccesso finale di temperatura del corpo sull'acqua, il coefficiente b è la sola quantità che

resti ancora indeterminata; ma di questo coefficiente si può ottenere dalle circostanze stesse della sperienza un valore approssimato, almeno in funzione dell'eccesso medesimo $T''-T'$, per mezzo della considerazione seguente.

Poichè l'acqua in virtù dell'eccesso finale $T''-T'$ del corpo sull'acqua, si riscalda di aT' in un secondo, a spese del corpo, se si chiama m, come sopra la massa del corpo, supposto dapprima senza inviluppo, prendendo per unità quella dell'acqua del vaso B, compreso l'equivalente in acqua del vaso stesso, e del termometro, e c il suo calore specifico ancora incognito, prendendo per unità quello dell'acqua, il corpo si raffredderà per la perdita di questa stessa quantità di calorico che riscalda l'acqua, di $\frac{aT'}{mc}$ in un secondo, e ciò come si è detto per un eccesso di temperatura $T''-T'$ del corpo sull'acqua. Dunque si avrà $\frac{aT'}{mc(T''-T')}$ pel raffreddamento del corpo, che avrebbe luogo in virtù d'un eccesso di temperatura del primo cioè pel valore di b, questo coefficiente altro non essendo che l'espressione della perdita di temperatura che il corpo dee fare quando $y=1$, in un'unità di tempo abbastanza piccola perchè l'eccesso di temperatura vi si possa considerare come costante.

Sostituendo questo valore di b nell'espressione sopra trovata di $T''-T'$, si avrà per determinare $T''-T'$ l'equazione

$$T''-T'=\frac{(T-\frac{1}{2}T')(T''-T')mc}{T'(1+\frac{1}{2}at)}\left(1-\frac{1}{\text{num.}\left[\log.=\frac{aT't}{mc(T''-T')}\right]}\right)$$

ovvero, togliendo il fattor comune $T''-T'$, e colle richieste trasformazioni,

$$\text{num.}\left(\log.=\frac{aT't}{mc(T''-T')}\right)=\frac{(T-\frac{1}{2}T')mc}{(T-\frac{1}{2}T')mc-T'(1+\frac{1}{2}at)}$$

ossia

$$\frac{aT't}{mc(T''-T')} = \log.\frac{(T-\frac{1}{2}T')mc}{(T-\frac{1}{2}T')mc-T'(1+\frac{1}{2}at)},$$

d' onde finalmente

$$T''-T' = \frac{\frac{aT't}{(T-\frac{1}{2}T')mc}}{mc.\log.\frac{(T-\frac{1}{2}T')mc-T'(1+\frac{1}{2}at)}{(T-\frac{1}{2}T')mc-T'(1+\frac{1}{2}at)}}.$$

Quest' espressione di $T''-T'$ contiene essa medesima l'incognita c, ma ciò non c'impedisce di farne uso pel nostro oggetto, facendola entrare nell'equazione definitiva che dee darci il valore di c.

Si giungerà a quest' equazione nella stessa maniera che nella prima approssimazione sopra proposta. Cioè si osserverà che $T''-T'=T-T'-(T-T'')$; ora $T-T''$ è la differenza delle temperature iniziale, e finale, ossia la perdita totale di temperatura fatta dal corpo, la quale non è altro che la quantità di calorico, che il corpo ha perduta divisa per mc; poichè dunque questa quantità di calorico misurata dal riscaldamento che essa ha prodotto nell' acqua è, come sopra abbiamo veduto, $T'+\frac{1}{2}aT't$, si avrà

$$T-T''=\frac{T'+\frac{1}{2}aT't}{mc}$$

e per conseguenza

$$T''-T'=T-T'-\frac{T'+\frac{1}{2}aT't}{mc}.$$

Uguagliando questo valore di $T''-T'$ a quello di sopra trovato, si ha dunque l' equazione

$$T-T'-\frac{T'+\frac{1}{2}aT't}{mc}=\frac{(T+\frac{1}{2}T')mc}{(T-\frac{1}{2}T')mc-T'(1+\frac{1}{2}at)}.$$

Quando, come nelle nostre sperienze il corpo di cui si vuole determinare il calore specifico non è immerso da se solo nell' acqua, ma racchiuso in un inviluppo, di cui la mas-

sa ridotta al suo equivalente in acqua, e prendendo per unità l'acqua del vaso B, unita all'equivalente del vaso, e del termometro in acqua, sia M, bisogna secondo quello che sopra si è detto mettere $mc+M$ in vece di mc. Se per abbreviare si rappresenta questa quantità $mc+M$ con X, e si faccia inoltre $T-T'=A$, $T'+\frac{1}{2}aT't=B$,

$$aT't=C, \frac{T'(1+\frac{1}{2}at)}{T-\frac{1}{2}T'}=D,$$

quest' equazione diviene

$$A-\frac{B}{X}=\frac{C}{X\log.\frac{X}{X-D}},$$

o sotto forma più semplice,

$$(AX-B)(\log.X-\log.(X-D))=C.$$

Se si vogliono adoperare i logaritmi tabulari, basterà scrivere 0,4343 C in vece di C pel secondo membro. In quest' equazione tutto è supposto conosciuto eccetto c, che è implicitamente contenuto in X. Si potrà dunque determinare X, e quindi anche c; vi si giungerà con diverse sostituzioni di valori di c, e per conseguenza di X, che si proveranno, finchè si soddisfaccia all' equazione con quel grado di precisione che si desidera.

È facile convincersi, coll' applicazione delle due approssimazioni successivamente indicate a qualche esempio fittizio, della maggior esattezza dei risultati di quest' ultima, che richiede solo un calcolo alquanto più complicato.

Ma io debbo ancora parlare di una modificazione a queste formole, resa necessaria dalla circostanza in cui le nostre sperienze hanno ordinariamente luogo. Nello stabilirle ho supposto che la temperatura dell'aria al principio della sperienza fosse la stessa che quella dell' acqua del vaso B; ma come ho già detto, nella maggior parte delle mie sperienze la

temperatura dell'aria era diversa, e il più sovente superiore di uno o due gradi, o almeno di qualche frazione di grado a quella iniziale dell'acqua. Conviene dunque introdurre questa circostanza nelle nostre formole, nel modo che passo ad indicare.

Supponiamo che T, T', T'' ritengano la stessa significazione di sopra, cioè si riferiscano ad eccessi di temperatura sopra quella dell'acqua del vaso, ma che la temperatura dell'aria sia più elevata di questa, di h gradi; l'eccesso iniziale dell'acqua sull'aria, sarà quì negativo, ed espresso da $-h$; l'eccesso finale dell'acqua sull'aria sarà $T'-h$; dunque l'eccesso medio dell'acqua sull'aria, pendente l'esperienza, in vece di essere semplicemente $\frac{T'}{2}$, sarà $\frac{-h+T'-h}{2}$, ossia $\frac{T'}{2}-h$, quindi la dissipazione approssimata di temperatura in vece di essere $\frac{1}{2}aT't$, sarà $at\left(\frac{T'}{2}-h\right)$, ossia $\frac{1}{2}aT't-hat$. Dunque la quantità di calorico che l'acqua riceve dal vasetto, e dalla sostanza che vi è contenuta, è $T'+\frac{1}{2}aT't-hat$, e quella che essa riceve per una media in un secondo, è $\frac{T'+\frac{1}{2}aT't-hat}{t}$. Per altra parte quella che l'acqua dà all'aria per ciascun secondo al fine della sperienza, e che è anche quella che essa riceve dal vasetto a quest'epoca, sarà $a(T'-h)$.

Ciò posto, per formare l'espressione di $T''-T'$ secondo la nostra prima approssimazione, avremo la proporzione

$$\frac{T'+\frac{1}{2}aT't-hat}{t} : a(T'-h) :: \frac{T-T''-T'}{2} : T''-T',$$

donde

$$T''-T' = \frac{(T+T''-T')a(T'-h)t}{2(T'+\frac{1}{2}aT't-hat)},$$

ovvero liberando intieramente $T''-T'$, e ogni riduzion fatta,

$$T''-T' = \frac{T(aT't-aht)}{2T'-hat},$$

espressione, che facendo $h = 0$, tornerebbe a dare il valore $\frac{aTt}{2}$ che abbiamo trovato precedentemente per mezzo di questa stessa approssimazione, nella supposizione che la temperatura iniziale dell'acqua fosse uguale a quella dell'aria. Mettendo quest' espressione più generale di $T'' - T'$ in vece di $\frac{aTt}{2}$ nell' equazione che avevamo stabilito, secondo la stessa approssimazione per trovare il valore di c, e scrivendo anche $T'+\frac{1}{2}aT't-aht$ in vece di $T'+\frac{1}{2}aT't$, l' equazione diviene

$$\left(T - T' - \frac{T(aT't-aht)}{2T'-aht}\right)mc = T' + \tfrac{1}{2}aT't - aht$$

d'onde si ricava tosto il valore di mc, a cui si può anche surrogare $mc + M$ per avere riguardo all' inviluppo del corpo, e quindi quello di c.

Passando alla seconda approssimazione, osserveremo che la proporzione che serve a stabilire il valore di $T''-T'$, avuto riguardo alla circostanza di cui quì si tratta, diviene

$$\frac{T'+\frac{1}{2}aT't-hat}{t} : a(T'-h) :: \frac{T-\frac{1}{2}T'}{bt}\left(1 - \frac{1}{\text{num.}(\log.=bt)}\right) : T''-T',$$

d' onde

$$T''-T' = \frac{a(T'-h)(T-\frac{1}{2}T')\left(1 - \frac{1}{\text{num.}(\log.=bt)}\right)}{b(T'+\frac{1}{2}aT't-hat)}.$$

Per altra parte si troverà nel nostro caso $b = \frac{a(T'-h)t}{X(T''-T')}$, X ritenendo la stessa significazione che sopra gli abbiamo attribuita, cioè di $mc+M$. Sostituendo questo valore nell'espressione di $T''-T'$, sopprimendo il fattore $T''-T'$ comune a due membri dell' equazione che ne risulterà, e prendendo i logaritmi, come nel caso in cui si trascurava la correzione dovuta ad h, si troverà

$$T''-T'=\frac{a(T'-h)t}{X\log.\frac{(T-\frac{1}{2}T')X}{(T-\frac{1}{2}T')X-(T'(1+\frac{1}{2}at)-hat)}}.$$

Uguagliando quest' espressione a $T-T'-\frac{T'+\frac{1}{2}aT't-hat}{X}$, si avrà per determinar X, e quindi c, l' equazione seguente della stessa forma di quella sopra trovata pel caso in cui si trascurava h,

$$(A'X-B')(\log.X-\log.(X-D'))=C',$$

ma nella quale si avrà, paragonandola con quella,

$$A'=A=T-T'$$

$$B'=B-hat=T'+\tfrac{1}{2}aT't-aht$$

$$C'=C-aht=aT't-aht$$

$$D'=D-\frac{hat}{T-\frac{1}{2}T'}=\frac{T'(1+\frac{1}{2}at)-hat}{T-\frac{1}{2}T'}.$$

Anche quì se si vogliono usare i logaritmi tabulari, bisogna moltiplicare C' pel modulo 0,4343.

Se la temperatura iniziale dell' acqua del vaso fosse più elevata che quella dell' aria d' un numero di gradi h, bisognerebbe fare h negativo nelle indicate formole.

§. IV.

Prova dei procedimenti e calcoli proposti, nella loro applicazione a determinare il calore specifico dell' acqua, e indicazione della maniera definitiva di paragonare ad esso quello degli altri corpi.

Finquì noi abbiamo cercato di determinare direttamente, e secondo le circostanze e dati relativi al nostro apparecchio, e alla maniera di operare da noi adottata, i calori specifici de' corpi sottoposti alle sperienze, prendendo per unità il calore specifico dell' acqua del vaso esterno, in cui i corpi s' immergono. Ma queste circostanze, e questi dati sono in parte apprezzati in una maniera soltanto approssimativa, e le nostre formole stesse rinchiudono altre approssimazioni; quindi può accadere che i risultati dedotti dalle nostre sperienze, indipendentemente dagli errori d' osservazione, che possono commettersi nelle sperienze particolari per ciascuna sostanza, e di quelli più o meno grandi che l'applicazione delle nostre formole a ciascuna di esse può presentare, in ragione della differenza di densità, di poter conduttore, ecc. e del calore specifico stesso che si cerca di determinare, siano ancora affetti da un error costante, proveniente dall' inesattezza dei dati relativi al nostro apparecchio, e delle nostre formole in generale.

Ma ci si presenta un mezzo di mettere i nostri procedimenti e le nostre formole alla prova, applicandoli ad una sostanza, per la quale si conosce già antecedentemente il risultato che si dovrebbe ottenere, se essi fossero esenti da ogni errore, cioè all' acqua stessa, di cui prendiamo il calore specifico per unità di tutti gli altri.

Egli è chiaro infatti che mettendo dell'acqua nel vasetto di cui ci serviamo nelle nostre sperienze, procedendo per essa come per tutti gli altri corpi, e applicandovi le nostre formole, se non vi fosse alcuna causa d' errore, si dovrebbe

trovare il suo calore specifico = 1, vale a dire uguale a quello dell'acqua del vaso esterno, che noi abbiamo preso per unità nello stabilimento delle formole stesse. Dobbiamo naturalmente aspettarsi a che questo non succeda esattamente; ma se il divario che troveremo sarà un po' considerevole, dovremo riguardarlo, non come dovuto semplicemente agli errori accidentali, che possono commettersi in più, o in meno nelle sperienze, e ne' calcoli relativi all'acqua non altrimenti che per qualunque altra sostanza; ma come proveniente, almeno in gran parte, da un errore costante nei dati, da cui siamo partiti per la determinazione diretta dei calori specifici per mezzo delle nostre sperienze. E si potrà poi, in questo caso, eludere in certa maniera questa causa d'errore, paragonando il calore specifico de' diversi corpi, in seguito alle sperienze, e ai calcoli sopra ciascuno di essi, non direttamente a quello dell' acqua del vaso esterno, come l'abbiamo fatto in quello che precede, ma al risultato che l'acqua ci avrà dato, per l' applicazione di questi stessi procedimenti e calcoli alla medesima.

Ho dunque fatto diverse sperienze per la determinazione del calore specifico dell' acqua, per mezzo del mio apparecchio, riempiendone il vasetto, e calcolando come per le altre sostanze. Riferirò quì partitamente le circostanze di una di queste sperienze, e la maniera con cui vi ho applicato il calcolo; questo servirà d' esempio della maniera in cui ho operato per tutte le altre sostanze per determinarne il calore specifico, e per cui mi dispenserò poi di entrare ulteriormente ne' particolari, contentandomi di indicarne semplicemente i risultati finali.

ESPERIENZA SULL'ACQUA.

Peso dell' acqua che fu rinchiusa nel vasetto o recipiente d'ottone $20^{gram},017$.

Peso stesso diviso per 147,5, ossia espresso prendendo per unità la riunione del peso d' acqua contenuto nel vaso esterno, e dell' equivalente del vaso stesso, e del termometro

in acqua $0^{gram},136$. Temperatura dell'aria nel luogo della sperienza $18° \frac{1}{2}$ C. Temperatura iniziale dell'acqua nel vaso esterno $17.°$

Il vasetto contenente li $20^{gram},017$ d'acqua chiuso col suo coperchio, e viti coll'interposizione d'un disco di pelle bagnata, essendo stato immerso in un vaso di terra cotta posto sopra un fornellino, fu l'acqua riscaldata sino all'ebullizione, e si lasciò bollire per un quarto d'ora circa; ne fu allora estratto rapidamente il vasetto con mollette, prendendolo pel pometto infisso al suo coperchio, e fu subito immerso nell'acqua del vaso esterno munito del suo termometro. Il termometro cominciò tosto ad ascendere, ed ecco quali furono le sue indicazioni di minuto in minuto.

A 3^{ore}	$29'$	Immersione . . . $17°$ C
	30	 20
	31	 23
	32	. . . . . $24\frac{1}{2}$
	33	 25
	34	. . . . . $25\frac{1}{2}$
	35	. . . . . $25\frac{1}{2}$
	36	. . . . . $25\frac{3}{4}$
	37	. . . . . $25\frac{3}{4}$
	38	. . . . . $25\frac{3}{4}$
	39	. . . . . $25\frac{3}{4}$
	40	. . . . . $25\frac{3}{4}$
	42	. . . . . $25\frac{3}{4}$
	42	. . . . . $25\frac{3}{4}$
	43	. . . . . $25\frac{1}{2}$
	44	. . . . . $25\frac{1}{2}$
	45	. . . . . $25\frac{1}{4}$

La temperatura essendo ora visibilmente in istato di diminuzione, l'osservazione non fu spinta più oltre. Si vede che la massima elevazione di temperatura osservata è $25\frac{3}{4}$, il che dà pel massimo del riscaldamento dell'acqua del vaso esterno a spese del vasetto, e dell'acqua in esso contenuta

$$25^{\circ},75 - 17^{\circ} = 8,^{\circ}75;$$

e questo massimo può considerarsi come avvenuto a $3^{ore}, 39'$ tempo che corrisponde al mezzo dell'intervallo di 7 minuti, durante il quale il termometro è stato sensibilmente stazionario a $25^{\circ}\frac{3}{4}$, così questo massimo di riscaldamento ha avuto luogo $39'-29'$ ossia $10' = 600''$ dopo il momento dell'immersione.

Secondo questi dati si ha primieramente quì $m = 0,136$, e siccome nel nostro apparecchio $M = 0,0237$ come sopra si è veduto, la quantità $mc + M$ sarà rappresentata da $0,136.c + 0,0237$: questa è pure la quantità che abbiamo indicata con X nelle nostre formole.

Supponendo la temperatura presa dal vasetto e dall'acqua in esso contenuta, nell'acqua bollente, uguale a 95° C, come ci siamo proposti, si avrà quì per l'eccesso di questa temperatura sopra quella del vaso esterno al momento dell'immersione $T = 95^{\circ} - 17^{\circ} = 78^{\circ}$. Abbiamo inoltre, secondo l'osservazione, pel massimo riscaldamento, $T' = 8^{\circ},75$. Inoltre $t = 600''$, che moltiplicato per 0,00034 valore di a nel nostro apparecchio, ci dà $at = 0,204$, ed $\frac{1}{2}at = 0,102$. Finalmente si ha quì per la differenza di temperatura tra l'acqua al principio della sperienza, e l'aria esterna $h = 1^{\circ},5$, e quindi $hat = 0,306$.

Se si sostituiscono primieramente questi valori nella formola fondata sulla prima delle approssimazioni che abbiamo proposto, cioè

$$X = mc + M = \frac{T' + \frac{1}{2}aT't - aht}{T - T' - \frac{T(aT't - aht)}{2T' - aht}},$$

si trova $mc+M=0,1481$, d'onde $mc=0,1481-0,0237=0,1244$,

$$\text{e} \quad c=\frac{0,1244}{0,136}=0,9147,$$

o limitandoci a tre decimali $c=0,915$. Così il calore specifico dell'acqua che dee essere $=1$, ci è dato da questo primo calcolo applicato ai dati della nostra sperienza, quali li abbiamo ammessi, inferiore di circa una decima parte dell'unità.

Vediamo ora ciò che ci darà il calcolo fondato sulla seconda delle nostre approssimazioni, e che dobbiamo considerare come più esatto, astrazion fatta dagli errori dei dati che prendiamo per base. Si avrà qui nella formola generale

$$(A'X-B')(\log.X-\log.(X-D'))=C',$$

$$A'=T-T'=69,25;\ B'=T'+\tfrac{1}{2}aT't-aht=9,3365;$$

$$C'=aT't-aht=1,379;\ D'=\frac{T'(1+\frac{1}{2}at)-aht}{T-\frac{1}{2}T'}=0,1268.$$

Per far uso dei logaritmi tabulari si dee moltiplicare C' ossia 1,379 per 0,4343, il che dà 0,5989. la formola diviene quindi,

$$(69,25.X-9,3365)(\log.X.-\log.(X-0,1268))=0,5989.$$

Se per cercare il valore di c, e quindi di X che soddisfa a quest'equazione, si fa dapprima $c=1$, come ciò dovrebbe essere se tutti i nostri dati, e le nostre formole fossero esatte, si avrà

$$X=mc+M=m+M=0,136+0,0237=0,1597;$$

sostituendo questo valore nella formola, e mettendovi pure i valori negativi dei logaritmi di 0,1597, e di 0,1597—0,1268, ossia 0,0329 quali li danno le tavole, si trova che il primo membro di questa formola diviene 1,1819, in vece di 0,5989 valore del secondo membro, a cui dovrebbe essere uguale se-

condo l' equazione. La prima approssimazione quì sopra avendoci appreso che il valore di c secondo i nostri dati non poteva differir molto da 0,9, sostituiremo per seconda prova questo valore a c, il che darà $X = 0,1224 + 0,0237 = 0,1461$; e allora troveremo per valore del primo membro 0,6865, che è molto più vicino a 0,5989. Ma l'errore essendo ancora tuttavia nello stesso senso, si dee ancora diminuire alquanto il valore di c per fare scomparir quest' errore, e dopo un piccolo numero di prove, si troverà che si soddisfà all' equazione sino alla quarta decimale, prendendo $c = 0,8879$, o con tre soli decimali 0,888 il che corrisponde a

$$X = 0,1208 + 0,0237 = 0,1445.$$

Così il risultato della nostra sperienza calcolata secondo la nostra seconda approssimazione, si scosta ancora alquanto più che quello della nostra prima approssimazione, da quello che si dovrebbe avere cioè $c = 1$; il divario secondo quella prima approssimazione è di un po' meno d'una decima parte, e secondo l'ultima approssimazione d'un po' più d'una decima.

Altre esperienze mi hanno dato pel valore di c nell' acqua risultati poco diversi, e non credo potermi scostar molto dal vero, ammettendo che la nostra maniera di procedere, partendo dai dati che abbiamo supposti relativamente alle parti del nostro apparecchio, ci dà per l' acqua, calcolando colla prima approssimazione, il valor medio $c = 0,91$, corrispondente a $X = 0,148$, e calcolando colla seconda approssimazione $c = 0,89$, corrispondente a $X = 0,145$ in vece di $c = 1$, e $X = 0,160$, che gli corrisponde. Questa discordanza può essere in parte dipendente da circostanze particolari all'acqua, e a questo riguardo le diverse sostanze, come ho già accennato, potrebbero presentare errori analoghi ora in più ora in meno, che sarebbero inevitabili nella nostra maniera di operare e di calcolare; ma mi sembra affatto improbabile che gli errori di questa specie possano giungere ad una tale estensione, e penso che la maniera più naturale di rendersene ragio-

R. Università di Torino
ISTITUTO DI FISICA

ne, sia di attribuirla agli errori dei dati generali relativi alla natura del nostro apparecchio, e che abbiamo adottati nell'applicazione delle nostre formole, e sopratutto di quelli che risguardano la determinazione della massa d'acqua a cui è equivalente il sistema del vaso esterno, come sarebbero l'estimazione delle diverse parti del termometro; la distribuzione della temperatura nell'acqua, e nelle pareti di questo vaso, che noi abbiamo supposta uniforme, mentre l'elevazione di temperatura dee essere maggiore nelle parti più interne, che nelle esterne; l'estimazione arbitraria della temperatura presa dalla parte del tubo, e della scala del termometro che resta fuori dell'acqua, che abbiamo supposta la metà di quella presa dall'acqua, e dalle pareti del vaso; la supposizione che il termometro indichi giustamente a ciascun istante la temperatura media dell'acqua in cui è immerso, mentre queste indicazioni debbono essere necessariamente alquanto in ritardo e quindi anche alterate nel valore, ecc. Non sarebbe difficile di modificare uno o più di questi dati in maniera da ottenere nell'applicazione del calcolo alle nuove supposizioni che si farebbero, precisamente il calore specifico = 1 per l'acqua, ma queste modificazioni non potrebbero essere che arbitrarie, nell'ignoranza in cui siamo di quelli tra i dati, su cui esse debbono cadere, e dopo aver già adottati per ciascuna di essi que' valori che in seguito a considerazioni dirette ci sono sembrati più convenevoli. Vi è un altro mezzo di rimuovere ad un tratto l'influenza, che l'inesattezza di questi dati eserciterebbe necessariamente anche sulle determinazioni dei calori specifici delle altre sostanze; esso consiste nel considerare quest'influenza come esercitata proporzionalmente su tutte queste determinazioni. Infatti le sperienze essendo tutte fatte per quanto è possibile, cioè per quanto lo permette la diversa natura delle sostanze, sotto le stesse circostanze, i loro risultati debbono essere comparabili tra loro, e relativamente all'acqua; ella è dunque la comparazione dei diversi risultati con quello fornito dall'acqua, che dee darci

più immediatamente il rapporto dei calori specifici dei diversi corpi a quello dell' acqua, secondo le nostre sperienze, e indipendentemente dagli errori particolari, di cui ciascuna di esse può essere affetta. Ma la proporzionalità di cui si tratta dee riferirsi, non al valore di c, e quindi di mc, che non è che una porzione della massa calorifica messa in esperienza immediatamente, ma bensì alla quantità $mc+M$, ossia X, che rappresenta questa massa intera composta della sostanza esaminata, e del vasetto che la contiene. Si dovrà dunque aumentare il valore di X trovato immediatamente dal calcolo della sperienza, come sarà stabilito per ciascuna sostanza, nello stesso rapporto che il valore di X trovato per l' acqua secondo questo calcolo presenta relativamente al valore che X avrebbe per l' acqua nella supposizione che il suo calore specifico fosse uguale all' unità, cioè nel rapporto di 0,148 a 0,160, se si fa uso della prima approssimazione, o in quello di 0,145 a 0,160 se si adopera la seconda. Così chiamando X il valore di $mc+M$ dato dal calcolo di ciascuna sperienza, il valore corretto di $mc+M$ sarà dato dalla proporzione

$$0{,}148 : 0{,}16 : : X : mc + M$$ nella prima approssimazione

ovvero

$$0{,}145 : 0{,}16 : : X : mc + M$$ nella seconda;

onde si avrà

$$mc + M \text{ ossia } mc + 0{,}024$$

uguale ad

$$X.\frac{0{,}16}{0{,}148} = X.1{,}081 \text{ od uguale a } X.\frac{0{,}16}{0{,}145} = X.1{,}103$$

e quindi $c = \frac{X.1{,}081 - 0{,}024}{m}$, ovvero $c = \frac{X.1{,}103 - 0{,}024}{m}$ invece di $c = \frac{X - 0{,}024}{m}$ che si avrebbe senza la correzione.

Ciascun risultato particolare non sarà più allora affetto, che dagli errori proprii a ciascuna sostanza, e dipendenti dalla loro natura speciale, errori che non possiamo prevedere nè rimuovere, e che dovranno considerarsi come inerenti al nostro metodo stesso, ma che saranno, secondo ogni probabilità d'un estensione molto minore che l'errore costante di cui abbiamo parlato.

Del resto si può osservare che la correzione che quì abbiamo proposta a quest'errore, consiste essenzialmente nel supporre che il rapporto della massa del vasetto ridotta al suo equivalente in acqua, unita a quella dell'acqua in esso contenuta, alla massa del sistema del vaso esterno espressa pure dal suo equivalente in acqua, invece di essere quello di 0,136 + 0,024 ossia 0,160 ad 1, od in grammi di 20,1 + 3,5 ossia 23,6 a 147,5 come l'avevamo ammesso, sia realmente quello di 0,148 ad 1 ovvero di 23,6 a 159,5, secondo la prima approssimazione, e quello di 0,145 ad 1, ovvero di 23,6 a 162,8 nella seconda; o in altri termini che supponendo giusta l'estimazione del vasetto in grammi d'acqua, l'equivalente del sistema del vaso esterno coll'acqua in esso contenuta sia realmente, o possa considerarsi avuto riguardo alle circostanze del riscaldamento delle sue diverse parti, come di 159 $\frac{1}{2}$ ovvero di 162,8 grammi circa, in vece di 147,5 soltanto, a cui l'avevamo valutato; ed infatti su questa estimazione appunto cadeva ciò che le nostre supposizioni avevano di più arbitrario.

Secondo questa maniera di considerar la cosa avremmo anche potuto dispensarci dal fare antecedentemente, e per mezzo di considerazione diretta l'estimazione del sistema del vaso esterno in acqua; si sarebbe esso determinato per mezzo del calcolo delle nostre sperienze sul calore specifico dell'acqua, in maniera da soddisfare alla condizione, che questo risultasse uguale all'unità, e si sarebbe così trovato l'equivalente di questo sistema in acqua di 159,5, o di 162,8 grammi, per mezzo dell'una o dell'altra approssimazione, co-

me abbiamo veduto. Dividendo conseguentemente il peso dell' equivalente del vasetto 3,5 per l' uno o l' altro di questi numeri, si sarebbe ottenuto 0,0222 oppure 0,0217 in vece di 0,024 come si troverebbe anche dividendo 0,024 per 1,081, o per 1,103. Allora, determinando anche *m* per mezzo della divisione del numero di grammi di ciascuna sostanza contenuti nel vasetto, per lo stesso numero 159,5 o 162,8, la quantità *mc*+M, cioè *mc*+0,0222, oppure *mc*+0,0217 sarebbe rappresentata immediatamente da X quale è dato dall' osservazione calcolata coll' una o coll' altra approssimazione rispettivamente, con risultati identici a quelli che ci dà la correzione sovra indicata applicata alle nostre estimazioni precedenti (1).

Questa correzione o modificazione nell'applicazione delle nostre formole suppone, a dir vero, che la differenza di rapporto tra il vasetto pieno d'acqua, e il sistema del vaso esterno, da quello che dapprima avevamo adottato, indicata dalle sperienze sull' acqua dipenda unicamente dagli errori commessi nell' estimazione del sistema del vaso esterno. Se l' errore cadesse in parte anche nell' estimazione dell'equivalente del vasetto stesso, quest' errore avrebbe un' influenza diversa sulle sperienze relative alle diverse sostanze: ma siccome nulla ci indica un errore a tal riguardo, e non abbiamo alcun mezzo di correggerlo per ciascuna sperienza, dobbiamo attenerci alla correzione proposta, di cui l' esperienza sull' acqua ci ha dimostrata la necessità in comune per tutte le nostre sperienze.

Egli è dunque per mezzo delle formole sovra riferite, ap-

---

(1) Non sarebbe nemmen necessario di calcolare l' equivalente in acqua del sistema del vaso esterno per mezzo dell' esperienza fatta sul vasetto pieno d' acqua per avere questi risultati corretti: si potrebbero essi dedurre immediatamente dal rapporto del valore di X dati dall' esperienza per l' acqua, e per ciascuna sostanza, come si vedrà nel calcolo delle sperienze sul calore specifico del ghiaccio di cui parlerò quì appresso nel §. VI.

plicate colla correzione o modificazione indicata alle mie sperienze, coll' una e coll'altra delle due approssimazioni proposte, che io ho calcolato il calore specifico delle diverse sostanze su cui ho sperimentato, e di cui darò l'indicazione nel §. seguente. Non riferirò tuttavia se non i risultati del calcolo per mezzo dei logaritmi fondato sulla seconda approssimazione, come il più esatto; non mi sono servito dei valori di X dati dal calcolo più semplice fondato sulla prima approssimazione, se non per avere una prima indicazione del valore da sostituirsi nella formola logaritmica, e diminuire così il numero di sostituzioni successive per giungere a soddisfare a questa formola. Ho fatto ordinariamente i calcoli con quattro decimali; non ne riferisco però la maggior parte dei risultati finali, che con tre decimali.

§. V.

Risultati delle esperienze sui calori specifici delle diverse sostanze.

Disporrò le diverse sostanze di cui ho determinato il calore specifico per mezzo degli indicati procedimenti e calcoli, in diverse classi secondo il loro grado di composizione, andando dalle sostanze semplici o meno composte a quelle di ordini di composizioni successivamente più elevati.

Esporrò per ciascuna di esse le loro qualità, e la maniera con cui me le sono procurate, perchè si possa giudicare del grado della lor purezza, e indicherò, ove d'uopo, alcune particolari circostanze che ebbero luogo nelle sperienze ad esse relative, e che possono influire sulla maggiore o minor confidenza da concedersi ai risultati che ne ho dedotti.

In generale farò quì osservare che questi risultati debbono riguardarsi come tanto più suscettibili d' esattezza, quanto più considerevole è il calore assoluto della quantità di ciascuna sostanza contenuta nel vaso interno del mio apparec-

chio, cioè il prodotto del calore specifico di questa, che si tratta di determinare, pel peso della medesima che se ne è potuto far capire nel vaso, e quanto maggior rapporto ha per conseguenza questo prodotto, sia all'equivalente in acqua del sistema del vaso esterno, sia a quello del vaso interno medesimo, che concorre col suo calore assoluto all'elevazione della temperatura dell'acqua del vaso esterno. Quando al contrario questo prodotto è piccolo, il riscaldamento dell' acqua del vaso esterno, che è l' oggetto immediato dell'osservazione, non essendo che di due o tre gradi, resta notabilmente alterato da un errore anche d' una piccola frazione di grado nell' osservazione; e quest' errore accumulato intieramente sull' estimazione del calore specifico della sostanza, poichè l' effetto calorifico del vaso che la contiene è supposto costante, ne produce uno molto più considerevole su questa. Per tal ragione io noterò in generale per le sostanze di cui mi sono occupato, il peso che ne ho potuto far capire nel vasetto, e che moltiplicato pel calore specifico dedotto dalla sperienza darà la misura dell' esattezza che si può sperare di aver ottenuta nella sua determinazione. Questo peso era necessariamente dipendente dal peso specifico della sostanza medesima, e dallo stato di divisione meccanica in cui essa si trovava.

Ho fatto sulla maggior parte delle sostanze due sperienze, e ne ho fatto un più gran numero per quelle, relativamente a cui le due prime non presentavano un accordo abbastanza soddisfacente, o per cui si frapponeva qualche cagion particolare d' incertezza: e ho prese le medie tra i risultati più concordi, e che ho creduto poter riguardare come esenti da errori accidentali considerevoli. Del resto io penso che in generale i risultati di queste sperienze sono sempre suscettibili di errori di alcune centesime dell' unità in cui sono espressi. Richiamerò al seguito de' miei risultati sopra ciascuna sostanza le determinazioni de' calori specifici date da altri Fisici per quelle sostanze per cui già se ne son fatte, e per quanto esse mi sono conosciute, e indicherò le cagioni probabili delle

lor differenze dalle mie, quando esse ne presenteranno alcuna di considerevole grandezza.

A. Sostanze Semplici.

Carbonio. Il carbonio è la sola delle sostanze elementari, di cui io mi sono occupato, relativamente al calore specifico. Ho creduto inutile il far nuove sperienze sovra i metalli ordinarii, i calori specifici de' quali sono già ben noti dalle sperienze dei Signori Dulong e Petit, che servirono a questi Fisici per istabilire la legge della costanza del calore specifico degli atomi. Sarebbe stato a dir vero, interessante l' estendere queste determinazioni ad alcuni metalli più rari, o recentemente scoperti, e di cui i suddetti Fisici non si sono occupati, e sopra tutto ai metalli degli alcali e delle terre; ma io non ho avuta occasione di procurarmeli nello stato di purezza, e in quantità sufficiente per poterli sottopporre alle mie sperienze, e per altra parte queste determinazioni non erano necessarie al mio oggetto principale, cioè quello di scoprire la legge del calore specifico de' corpi composti relativamente a quello de' loro componenti. Mi bastava per questo il conoscere dalle citate sperienze, i calori specifici de' metalli più noti, o determinarli per mezzo dell'indicata legge, per poterli paragonare con quelli che le mie sperienze mi avrebbero dati pei loro ossidi, e per le altre loro combinazioni.

Per la stessa ragione io non ho esaminato nè anche il calore specifico dello zolfo, il quale è pure stato determinato da Dulong e Petit in maniera da comprendere questa sostanza nella loro legge del calore specifico de' corpi semplici.

Ma il carbonio richiedeva un accurato esame a tale riguardo. I Signori Dulong e Petit non hanno inchiusa questa sostanza nelle loro sperienze. Crawford ha indicato, secondo le sue sperienze, 0,25 circa pel calore specifico del carbone, prendendo per unità quello dell' acqua; ma rimaneva dubbio, se egli avesse impiegato le convenienti attenzioni per avere

il carbone libero da ogni combinazione con idrogeno, e ben privo di materie terrose. Ho dunque creduto dover sottopporre alle mie sperienze diverse qualità di carbone ridotto al maggior grado di purezza possibile.

Ho fatto dapprima alcune sperienze nel piccolo apparecchio ordinario sopra nero di fumo, che era stato fortemente, e per lungo tempo calcinato in un crogiuolo coperto, a calor rovente, e che ho ancora esposto ad un calore poco inferiore al calor rosso avanti di racchiuderlo nel vasetto, per cacciarne via tutta l' umidità igrometrica che avesse potuto assorbire. Ma non ne ho potuto far capire nel vasetto, in ragione della forma di polvere leggerissima che esso presentava, se non circa sette grammi, e mi accorsi ben presto che con questa piccola quantità di materia il menomo errore commesso sul calore totale fornito dalla riunione della sostanza, e del vasetto che la conteneva, e che non era indicato che da un riscaldamento di due gradi circa dell'acqua del vaso esterno, ne cagionava una troppo considerevole relativamente alla sostanza stessa, perchè si potesse trar qualche partito da questa sperienza per la determinazione di cui si tratta.

Perciò mi son rivolto a sottopporre all' esperienza nello stesso apparecchio un'altra varietà di carbone, di cui potea contenersi un peso molto più considerevole nel vasetto del medesimo. Questo era carbone animale preparato per la scolorazione delle soluzioni di sostanze organiche, e che era stato spogliato dalle sostanze terree, coll' azione dell' acido idroclorico; questo carbone era come in minuti granellini e non in polvere leggiera; l'ho fatto anch' esso disseccare prima d' inchiuderlo nel vasetto, che se ne trovò contenere 18 grammi circa. L'esperienza calcolata nella maniera indicata nel § precedente, e in cui si ebbe un aumento di temperatura dell'acqua del vaso esterno di quasi tre gradi e mezzo diede pel calore specifico di questo carbone 0,279 prendendo per unità quello dell' acqua: questo sarebbe alquanto più di quello che ha trovato Crawford; ma è possibile che il carbone che

ho adoperato non fosse stato esposto ad una incandescenza abbastanza prolungata per ispogliarlo di tutto l' idrogeno, ed azoto della sostanza animale da cui era stato estratto.

Quindi ho creduto dover fare un' esperienza anche sul *grafite*, minerale che pare in oggi ben riconosciuto per una semplice mescolanza di materia carbonosa, e di ferro metallico in istato di grande divisione. Il grafite che ho adoperato era d' un bigio metallico, e di apparenza ben omogenea. L'ho sbricciolato in piccoli pezzetti per metterlo nel vasetto dell'apparecchio, che se ne trovò contenere 32 grammi. Il risultato dell' esperienza calcolato sempre nella stessa maniera diede 0,240 pel calore specifico. Se ammettendo questo risultato si suppone che il grafite sia un miscuglio di 0,9 di carbone, e 0,1 di ferro circa (che è quello che danno a un dipresso le analisi conosciute di questo minerale), siccome il calore specifico del ferro è circa 0,11, chiamando x quello del carbone si avrà $0{,}9.x+0{,}011=0{,}240$, d' onde si deduce $x=0{,}254$. Questa determinazione è tanto prossima al risultato di Crawford sul carbone, e a quello che ci ha dato il carbone animale, quanto si poteva aspettare da una semplice approssimazione sulla natura del nostro grafite. Gadolin (*dissertatio chemico-physica de theoria caloris corporum specifici*. Abone 1784. Cito quest' opera, e i risultati che vi si contengono secondo l' indicazione che se ne trova nel Trattato di Fisica di Suchow, traduzione Italiana, non essendomi potuto procurar la lettura dell' opera stessa originale) non avea trovato pel calore specifico del grafite, se non 0,183: ma probabilmente esso avrà esaminato grafite impuro, e mescolato di granelli di ferro in eccesso, che hanno dovuto abbassarne il calore specifico.

Secondo queste sperienze non pareva più dubbio che il calore specifico del carbone puro non fosse prossimamente la quarta parte di quello dell' acqua, quale Crawford l'avea indicato pel carbone da lui esaminato. Io desiderava tuttavia di verificare ancora questo risultato sopra carbone vegetale

quale è quello tratto dal nero di fummo. Ricorsi a tal fine all' altro apparecchio più grande, di cui ho parlato al fine del § II.°, per mezzo del quale io poteva operare sopra un peso di questo carbone sufficiente, relativamente alla massa dell' inviluppo o vaso che lo dovea contenere, e a quella dell' acqua del vaso esterno, perchè il risultato dovesse presentare qualche esattezza, non ostante la leggerezza di questo carbone polvereo. Ho impiegato carbone di nero di fummo preparato come sopra con forte e lunga calcinazione in vaso chiuso. La media di due sperienze ben d' accordo tra loro, e che ho calcolate relativamente a quest' apparecchio colle stesse correzioni, e cogli stessi metodi che ho indicati pel piccolo apparecchio (1), mi ha dato 0,235 pel calore specifico di questo carbone. Se si volesse prender la media tra questa determinazione, e quella ottenuta dal carbone animale 0,279, si avrebbe 0,257.

Pare adunque ben comprovato dalle sperienze di Crawford e dalle mie, che il calore specifico del carbon puro, quale si ottiene dalle sostanze vegetabili, ed animali, e quali si trova anche nel grafite, è circa 0,25 prendendo per unità quello dell' acqua.

Avrei desiderato di poter fare sperienze anche sul calore specifico del diamante; sarebbe stata in fatti cosa curiosa il vedere se questo calore specifico si sarebbe trovato lo stes-

(1) Io avea fatto con quest'apparecchio, come con quello di cui mi sono servito nella maggior parte delle altre sperienze, per servir di base alla correzione dei risultati fondati sull' estimazione diretta dell' equivalente del sistema del vaso esterno in acqua, sperienze preliminari per la determinazione del calore specifico che l' uso di quest'apparecchio mi dava per l'acqua stessa in vece dell' unità, e ho pure applicata questa correzione nella stessa maniera che ho fatto per l'altro apparecchio. Ho creduto inutile di entrare ne' particolari su questi diversi calcoli relativamente all' apparecchio di cui quì si tratta, quello che ho detto sul primo bastando a dare un' idea della loro natura.

so che quello del carbon puro, da cui il diamante non differisce per nulla, come è noto, quanto alla natura chimica, o se lo stato particolare d'aggregazione, in cui il carbonio vi si trova, avesse qualche influenza sul suo calore specifico. Ma non mi sono potuto procurare una quantità sufficiente di diamanti non incastonati, per farvi sopra queste sperienze.

B. OSSIDI METALLICI.

a. Ossidi attualmente considerati dalla maggior parte de' chimici, e particolarmente dal Sig. Berzelius, come contenenti un atomo d'ossigeno per un atomo di metallo, e così rappresentati colla formola $\dot{R}$.

Ossido giallo, o protossido di piombo, ossia *litargirio.* Ho operato sopra litargirio che io mi era assicurato, colle convenienti prove chimiche, non contenere nè ossido rosso ossia deutossido, nè altro metallo. L'esperienza fatta nel piccolo apparecchio ordinario sopra 81 grammi, che il vasetto se ne trovò contenere, e calcolata come sopra, mi ha dato 0,0505 pel calore specifico di quest' ossido. Gadolin avea trovato pel calore specifico del litargirio 0,049, che differisce assai poco dal mio risultato.

Ossido rosso di mercurio. Ho sperimentato sopra *precipitato rosso* preparato col nitrato di mercurio, e che ho fatto disseccare ad un calor moderato avanti di chiuderlo nel vasetto. Questo se ne trovò contenere 95 grammi e mezzo. L'esperienza calcolata al solito mi ha dato 0,0498, ossia molto prossimamente 0,050 pel calore specifico di quest' ossido. Lavoisier e Laplace hanno trovato 0,0501, risultato quasi identico col mio. Il calore specifico dell' ossido rosso di mercurio è dunque poco diverso da quello dell' ossido giallo di piombo a cui è analogo per la composizione, cioè circa $\frac{1}{20}$ di quello dell' acqua.

Protossido di stagno ossia *ossido stannoso* di Berzelius, che forma la base dei sali di stagno. Quest' ossido fu prepa-

rato disciogliendo lo stagno metallico nell' acido idroclorico, precipitando col sotto carbonato di potassa, disseccando il precipitato, e cacciandone quindi l' acqua d'idratazione colla calcinazione a calor rosso in vasi chiusi. Il vasetto se ne trovò ccntenere 36 grammi. La media di due sperienze ben d' accordo tra loro mi ha dato 0,094 pel calore specifico di quest' ossido. È possibile però che quest' ossido si fosse alquanto sovr' ossidato parzialmente nella sua preparazione, e che il calore specifico dell' ossido stannoso puro sia alquanto minore di quello che l' esperienza ha indicato.

Deutossido di rame, ossia *ossido cuprico* di Berzelius. Fu preparato calcinando a calor rosso il nitrato di rame: il vasetto se ne trovò contenere 40 grammi e mezzo circa. Una delle sperienze mi ha dato pel suo calore specifico 0,146; una seconda sperienza, fatta senza vuotare il vasetto, ha dato un risultato alquanto maggiore: ma ho qualche ragione di credere che si fosse introdotto un' po' d' acqua, la quale col suo calor proprio abbia aumentato il riscaldamento osservato in questa seconda sperienza. Crawford ha indicato 0,2272 pel calore specifico dell' ossido di rame; ma probabilmente avrà sperimentato sopra un ossido allo stato d' idrato.

Ossido di zinco. Ho impiegato fiori di zinco calcinati ancora avanti l' esperienza per togliere tutta l' acqua igrometrica che potesse esservisi introdotta. Ho trovato 0,141 pel calore specifico di quest' ossido. Questo risultato non è lontano da quello di Crawford 0,1369, o con tre soli decimali 0,137.

Non ho tentato di fare alcuna sperienza sul protossido di ferro per la grande difficoltà, e forse impossibilità di ottenere quest' ossido allo stato libero ed anidro.

Calce anidra, calce viva. Ho fatto le mie sperienze sopra calce pura preparata espressamente, precipitandola in carbonato dall' idroclorato di calce per mezzo del sotto-carbonato di potassa, lavando il precipitato, disseccandolo, poi calcinandolo per più ore a calore rovente in un crogiuolo coperto. Si

è provato che la calcinazione era compiuta da che la calce ottenuta si scioglieva senza effervescenza negli acidi. Il peso di questa calce che ho potuto far capire nel vasetto dell'apparecchio fu di 17 grammi e un quarto circa: la media di due sperienze ben d'accordo tra loro mi ha dato 0,179 pel suo calore specifico. Secondo Crawford il calore specifico della calce viva sarebbe 0,2229, e secondo Lavoisier e Laplace 0,2169: questi due risultati s'accorderebbero tra loro nel fissare circa 0,22 a questo calore specifico, in vece che secondo le mie sperienze essa non è che di 0,18 circa, ma questi Fisici hanno senza dubbio operato sopra calce viva del commercio che è sempre più o meno impura, e forse sopra calce in parte idrata per la sua esposizione all'aria. Io ho adoperata calce pura quanto fosse possibile, come si è veduto, e nel breve intervallo di tempo tra la calcinazione, e l'esperienza l'avea serbata in un fiasco di vetro ben otturato, in cui l'avea racchiusa ancora calda, onde non dubito che il mio risultato sia più prossimo al vero. Avrei desiderato di sottopporre alle mie sperienze anche la potassa e la soda anidre, ma non ho avuto mezzo di procurarmene quantità sufficienti.

b Ossidi contenenti secondo Berzelius un atomo e mezzo d'ossigeno per ciascun atomo di metallo, ossia 3 atomi d'ossigeno per due di metallo, e così rappresentati dalla formola $\ddot{R}$.

Ossido rosso di ferro, ossia *ossido ferrico* di Berzelius. L'ossido su cui ho sperimentato, era stato ottenuto dal solfato di ferro per mezzo della calcinazione a calor rosso; io l'ho calcinato ancora ad un calor moderato avanti d'inchiuderlo nel vasetto per togliergli l'acqua igrometrica che poteva aver assorbita; il vasetto se ne trovò contenere 22 grammi, e l'esperienza mi ha dato 0,213 pel suo calore specifico. Gadolin avea trovato 0,1666 per l'ossido di ferro, ma è incerto il grado d'ossidazione dell'ossido sù cui egli ha operato.

Ossido di piombo rosso, deutossido di piombo, o minio.

Ho sperimentato sopra minio del commercio, che ho fatto prima ben disseccare al solito ; il vasetto dell' apparecchio se ne trovò contenere circa 72 grammi: ho trovato 0,0651 pel suo calore specifico. Lavoisier e Laplace aveano trovato 0,0623, risultato poco diverso dal mio, e Gadolin 0,059, risultato alquanto minore. Ma è noto che il minio ordinario non è mai ossido rosso puro, bensì una mescolanza in proporzioni variabili d' ossido rosso, e d' ossido giallo ossia litargirio. Ho cercato di correggere il mio risultato determinando la quantità d' ossido giallo che era mescolato al minio da me adoperato. Ho esposto a tal fine una porzione di questo minio all' azione prolungata di una grande quantità d' acido acetico debole, il quale, come è noto, scioglie l' ossido giallo senza attaccare nè alterare l' ossido rosso. Il minio vi perdette molto prossimamente un terzo del suo peso, d' onde segue che esso era una mescolanza d' un terzo d' ossido giallo, e due terzi d' ossido rosso. Ciò posto se si parte dal calore specifico 0,0505 dell' ossido giallo sopra trovato, si avrà per determinare quello x dell'ossido rosso l'equazione $\frac{1}{3}0{,}0505 + \frac{2}{3}.x = 0{,}065$, dal che si deduce $x = 0{,}0724$. Crawford e Kirwan hanno indicato 0,068 pel calore specifico dell' ossido di piombo: questa determinazione si riferisce probabilmente al minio, poichè sarebbe visibilmente eccessiva per l'ossido giallo, e conviene anche supporre che essi abbiano operato sopra minio più esente da ossido giallo che il nostro, poichè il loro risultato s'approssima al calore specifico dell' ossido rosso puro secondo l' indicata correzione.

Ossido bianco d'arsenico ossia *acido arsenioso*. Il vasetto dell' apparecchio si trovò contenere 49 $\frac{1}{2}$ grammi di quest'ossido minutamente stritolato; la media di due sperienze mi ha dato 0,141 pel suo calore specifico.

Alumina anidra. Quest' alumina era stata ottenuta precipitando una soluzione d' alume col sottocarbonato di potassa: il precipitato ottenuto fu lavato, e disseccato, poi sottoposto per più d' un' ora ad un calor rovente in un crogiuolo per

togliergli l'acqua d' idratazione. Quest' alumina non poteva essere chimicamente pura, essa dovea contenere una piccola quantità di sottocarbonato di potassa aderente od in combinazione con una porzione dell' alumina stessa. Mi sono dappoi procurato alumina più pura allo stato d' idrato, come si vedrà quì appresso, ma non ho più avuta occasione di adoperarla allo stato anidro, e per quanto si può giudicare dalla comparazione dei risultati che gli idrati di queste due varietà d' alumina hanno presentati, e di cui parlerò a suo luogo, non pare che il difetto di purezza di quella che sola ho adoperato allo stato anidro, abbia potuto avere una grande influenza sul suo calore specifico. Il vasetto dell' apparecchio si trovò contenere 18 e un' altra volta 16 grammi soltanto di quest' alumina, e la media di due sperienze mi ha dato 0,200 pel suo calore sqecifico. Gadolin avea trovato 0,185 per l'alumina *cotta*, cioè senza dubbio resa anidra per mezzo dell'incandescenza; risultato alquanto inferiore a quello delle mie sperienze.

Sarebbe desiderabile che si potessero ripetere queste sperienze sul *corindone*, o sopra alcuna delle pietre preziose che appartengono a questa specie, e che sono formate di alumina anidra.

c Ossidi che secondo Berzelius contengono 2 atomi d'ossigeno per uno di metallo, ossia rappresentati dalla formola $\dot{R}$.

Deutossido di stagno, *ossido stannico* di Berzelius. Quest' ossido fu preparato coll' azione dell' acido nitrico sul protossido su cui si è sperimentato precedentemente, e accuratamente disseccato al fuoco, per una media tra due sperienze ben d' accordo tra loro sopra un peso di 40 grammi circa, ho trovato il suo calor specifico uguale 0,111. Crawford ha indicato 0,096 pel calore specifico dell' ossido di stagno; se, come è probabile, egli ha operato sul deutossido, il suo isultato è notabilmente inferiore al nostro; esso è di poco superiore a quello che abbiamo trovato pel protossido (1).

(1) Non ho avuto occasione di esaminare il calore specifico del deutos-

Perossido di manganese. Mi son servito di perossido naturale cristallizzato, destinato per l'estrazione dell' ossigeno, e disseccato al fuoco dopo la sua polverizzazione. La media di due sperienze sopra 42 grammi che ne ho fatto capir nel vasetto, mi ha dato 0,191 pel suo calore specifico.

d. Ossidi che secondo Berzelius contengono tre atomi d' ossigeno per uno di metallo, ossia rappresentati dalla formola $\dot{R}$.

Silicia, ossia *acido silicico.* Non ho esaminato alcuno degli ossidi od acidi metallici, che secondo Berzelius contengono 2 $\frac{1}{2}$ atomi d' ossigeno per uno di metallo, ossia 5 atomi d' ossigeno per 2 atomi di metallo, e quanto agli ossidi che secondo lo stesso chimico contengono tre atomi d' ossigeno per uno di radicale, non mi sono occupato che della silicia. Ho sperimentato sopra quarzo bianchissimo stritolato, e di cui il vasetto dell' apparecchio si trovò contenere 34 grammi. Ho trovato il suo calore specifico uguale a 0,179. Non conosco alcuna determinazione del calore specifico del quarzo fatta da altri Fisici; ma Crawford ha trovato 0,195 per quello dell'agata, che dee differir poco a tal riguardo dal quarzo.

C. Solfuri.

Solfuro di ferro ordinario, che contiene, secondo Berzelius, 2 atomi di zolfo per un atomo di metallo. Ho adoperato, solfuro naturale, ossia pirite solforosa ordinaria. Il pezzo che me ne sono procurato pareva ben omogeneo, e lucido;

---

sido di stagno sotto la modificazione particolare in cui esso si presenta, come è noto, quando si ottiene colla precipitazione dal cloruro di stagno per mezzo d' un alcali, in vece di prepararlo coll' acido nitrico, modificazione sotto la quale esso presenta proprietà diverse, quantunque la sua composizione chimica sia la stessa. Sarebbe però cosa curiosa il verificare se questa differenza di proprietà si estenda, e sino a qual grado anche al calore specifico.

lo stritolai in minuti pezzetti, e ne ho fatti capir nel vasetto circa 62 grammi. Ho trovato il suo calore specifico 0,135.

Solfuro di piombo, composto secondo Berzelius di un atomo di zolfo sopra uno di piombo. Ho operato sopra solfuro nativo o *galena*, scegliendo, dopo averlo stritolato, i pezzi ben lucidi; il vasetto se ne trovò contenere 88 grammi. Il calore specifico ne risultò uguale a 0,046.

Solfuro di mercurio, o cinabro: composto come il precedente, secondo Berzelius, d' un atomo di zolfo sopra uno di metallo. Quello su cui ho sperimentato era in polvere: l' ho disseccato ad un calor moderato avanti di chiuderlo nel vasetto, che se ne trovò contenere 60 grammi. Ottenni 0,048 pel suo calore specifico.

Solfuro d'arsenico giallo, ossia *orpimento*, formato, secondo Berzelius di 1 $\frac{1}{2}$ atomo di zolfo sopra uno d' arsenico, ossia 3 atomi di zolfo sopra 2 d' arsenico. Ho impiegato solfuro artifiziale in quantità di 50 grammi, e ho trovato pel suo calore specifico 0,105.

D. Cloruri.

a. Cloruri che secondo Berzelius contengono 2 atomi di Cloro per uno di metallo.

Cloruro di sodio o *sal comune*. Ho adoperato sale bianco purificato del commercio, che ho ancora lavato con un po' d' acqua per toglierne i cloruri più solubili che esso potesse ancor contenere, e l' ho fatto disseccare fortemente a un fuoco di lampada, dopo il che l'ho rinchiuso nel vasetto, che se ne trovò contenere 18 grammi. L' esperienza mi ha dato 0,221 pel suo calore specifico. Gadolin avea trovato pel calore specifico del sal comune 0,226, risultato poco diverso.

Cloruro di potassio. Ho operato sopra questo sale cristallizzato, ma stritolato, e disseccato a un calor moderato per cacciarne l' acqua frapposta, poichè questo sale non contiene

acqua di cristallizzazione. Il vasetto non ne contenne che 17 grammi; la media di due sperienze mi ha dato 0,184 pel suo calore specifico. Ma la piccolezza del prodotto di questo calore specifico per la quantità di materia impiegata non ci dà la sicurezza d' una grande precisione in questa determinazione.

Cloruro di calcio. Quello su cui ho operato era stato fuso in piccioli cilindri, ed era stato conservato ben secco; l'ho stritolato rapidamente, e l' ho rinchiuso subito nel vasetto dell' apparecchio, perchè non avesse tempo di attrarre sensibilmente l'umidità dell'aria; il vasetto se ne trovò contenere 26 grammi. La media di due sperienze mi ha dato 0,194 pel calore specifico: debbo però osservare che i risultati delle due sperienze furono un po' discordi tra loro; l' una avrebbe dato 0,188, e l'altra 0,205.

Deutocloruro di mercurio, sublimato corrosivo. Ho operato sopra 58 grammi di questa sostanza, e la media di due sperienze mi ha dato 0,069 pel suo calore specifico. La superficie interna del vasetto d' ottone si trovò alquanto attaccata dall' azione di questo cloruro pendente l' applicazione del calore dell' acqua bollente, ma non pare che ciò abbia potuto avere un' influenza sensibile sulla determinazione del calore specifico

b. Cloruri che secondo Berzelius contengono un solo atomo di cloro per un atomo di metallo.

Protocloruro di mercurio, ossia *mercurio dolce*. Questo è il solo cloruro di questa classe che io abbia sottoposto alle mie esperienze. Il peso che il vasetto ne contenne si trovò di circa 92 grammi, e il calore specifico risultò uguale a 0,041. Anche da questa sostanza la superficie del vasetto internamente fu alquanto alterata.

E. Ossidi idrati.

a. Ossidi che si riferiscono da Berzelius alla formola $\ddot{R}$, idrati.

Ossido rosso di ferro, idrato. Ho sperimentato sull'ossido di ferro detto *zafferano di marte*, e che ho fatto disseccare a un dolce calore per togliergli l'acqua igrometrica straniera all'idratazione. È noto che in quest'idrato l'ossigeno dell'acqua è la metà dell'ossigeno dell'ossido, come nel minerale conosciuto sotto il nome Tedesco di *Brauneisenstein*; ne ho fatto tenere nel vasetto un po' più di 27 grammi. Ho trovato 0,188 pel suo calore specifico. Non ricorderò quì i diversi risultati che altri fisici hanno indicati pel calore specifico degli ossidi di ferro, perchè è ignota la natura degli ossidi su cui hanno sperimentato, cioè di qual grado d'ossidazione, e se idrati, od anidri. Il mio risultato stesso non merita un'intiera confidenza, perchè l'ossido che ho adoperato poteva anche contenere un poco di carbonato di ferro.

Alumina idrata. Ho fatte le mie sperienze sopra idrato d'alumina artifiziale; si sa che in quest'idrato, non altrimenti che nell'idrato naturale che forma il minerale chiamato *Gibbsite*, l'ossigeno dell'acqua d'idratazione è uguale a quello dell'alumina stessa; cosicchè supponendo con Berzelius la composizione atomica dell'alumina la stessa che quella dell'ossido di ferro rosso, il grado d'idratazione dell'idrato d'alumina di cui si tratta, non sarebbe che la metà di quello dell'idrato d'ossido rosso di ferro, che abbiamo or ora esaminato. Ho operato dapprima sopra alumina idrata men pura preparata come ho detto all'articolo dell'alumina anidra, cioè colla semplice precipitazione da una soluzione d'alume col sotto carbonato di potassa, e disseccamento del precipitato ad un calor moderato; il vasetto se ne trovò contenere 22 grammi circa, e mi è risultato il calore specifico 0,406. Ho fatto in seguito una doppia sperienza sull'idrato d'alumina preparato secondo il metodo indicato dal Sig. Berzelius per evitare la combinazion parziale del sotto carbonato di potassa coll'alumina, cioè sciogliendo di nuovo il precipitato ottenuto col sotto carbonato di potassa, nell'acido idroclorico, e precipitando poi l'alumina da questa soluzione coll'ammoniaca. Sfortunatamente non

si spinse abbastanza l' essiccazione dell' idrato così ottenuto, onde togliergli tutto l' umido straniero all' idratazione dell'alumina. Dalla perdita di peso che si ebbe esponendo una porzione di quest' idrato al calor rovente, e riducendo così l' alumina allo stato anidro, pare che esso dovesse ancora contenere almeno 5 per cento di quest' acqua estranea alla sua idratazione. Il vasetto dell'apparecchio si è trovato contenere 16 grammi soltanto o poco più di quest' idrato, e la media delle due sperienze diede 0,450 pel suo calore specifico. Ma se si ammetta che la sostanza su cui si è operato fosse un miscuglio di 0,95 d' idrato d' alumina e 0,05 d'acqua straniera all' idrato, se ne dedurrà pel calore specifico, dell'idrato d' alumina puro 0,421, risultato non molto diverso da quello che ci avea dato l' idrato d' alumina men puro.

b. Ossidi che si riferiscono secondo Berzelius alla formola Ṙ idrati.

Gli idrati di questa classe, che ho esaminati contengono tutti una quantità d' acqua d' idratazione, di cui l' ossigeno è uguale a quello dell' ossido.

Calce idrata, o *calce estinta*. Quest' idrato si è ottenuto estinguendo la calce viva, cioè bagnandola con acqua, e disseccandola quindi ad un calor moderato per cacciarne l' acqua estranea all' idratazione. Ho impiegato dapprima calce ordinaria del commercio, e operando sopra un po' più di 15 grammi in peso, ho ottenuto pel calore specifico dell' idrato 0,289. Ho quindi fatto due altre sperienze sopra calce pura, quale era quella di cui già sopra ho determinato il calore specifico allo stato anidro; ho bagnato nella stessa maniera questa calce con acqua, ed ho disseccato l' idrato ottenuto; ne ho fatto capire nel vasetto 16 grammi, e la media delle due sperienze mi diede 0,310 pel suo calore specifico. Questo risultato è di poco superiore a quello che mi avea dato la calce idrata del commercio, il che potrebbe in parte provenire da una meno compiuta essiccazione. Comunque, sia il calore specifico dell' idrato di calce pare, secondo queste esperienze, non poter essere molto lontano da 0,3.

Potassa idrata. Ho adoperato idrato di potassa fuso, e che era stato conservato in vaso ben chiuso per difenderlo dall' umidità dell'aria; il vasetto se ne trovò contenere 24 grammi, e l'esperienza mi diede 0,358 pel calore specifico.

Soda idrata. L' idrato di soda, ossia soda caustica su cui ho sperimentato era stato preparato, e conservato colla stessa attenzione che quello di potassa; da due sperienze ben d'accordo tra loro, sopra 27 grammi in peso, ne risultò il calore specifico 0,803. Debbo quì osservare che questa sostanza che era stata posta in minuti pezzi nel vasetto, si trovò dopo l'operazione alquanto sprofondata e agglutinata, il che indica un ammollimento che essa dee aver subito pel calore dell'acqua bollente a cui era stata esposta; si può quindi sospettare che la quantità di calorico che essa ha fornito nel raffreddarsi, e dalla quale il suo calore specifico apparirebbe uno de' più considerevoli tra quelli dei corpi solidi, debba in parte attribuirsi a calor latente che si sia svolto nel passaggio da quello stato di ammollimento, o ad un principio di liquefazione allo stato solido, nel qual caso il risultato ottenuto non sarebbe comparabile colle determinazioni del calore specifico degli altri corpi. Io non cercherò per ora di decidere questo punto, contentandomi di aver riferito il risultato quale l' esperienza me lo ha dato.

F. Ossisali anidri.

a. Carbonati, o sottocarbonati, rappresentati secondo Berzelius della formola $\dot{R}\dot{C}$.

Sottocarbonato di calce. Ho adoperato nelle mie sperienze sotto-carbonato di calce nativo, cioè marmo bianco statuario stritolato in minuti pezzi, e di cui il vasetto si trovò contenere 39 $\frac{1}{2}$ grammi. Questo marmo, come me ne sono assicurato colle convenienti prove chimiche, non conteneva nè silicia nè alumina. Ho trovato pel suo calore specifico 0,203.

Crawford avea indicato pel calore specifico del carbonato di calce 0,2564; e Gadolin 0,207; quest' ultimo risultato è il più vicino al nostro.

Sotto-carbonato di potassa. Ho impiegato sotto-carbonato cristallizzato, che si è fatto fondere nella sua acqua di cristallizzazione in un bacino d' argento, e ritenuto ad un calor moderato per togliergli l' acqua d' idratazione, e disseccato compiutamente. Due sperienze affatto concordi tra loro sopra 23 grammi di questa sostanza mi hanno dato 0,237 pel suo calore specifico.

Sotto-carbonato di soda. Preparato e ridotto allo stato anidro nella stessa maniera che quello di potassa: il vasetto ne contenne 21 $\frac{1}{2}$ grammi; la media di tre sperienze mi ha dato 0,281 pel suo calore specifico.

b. Solfati rappresentati secondo Berzelius dalla formola $\dot{R}\ddot{S}$.

Solfato di calce. Ho adoperato gesso già calcinato del commercio, che ho fatto ancora arroventare per togliergli tutta l' acqua che poteva aver assorbita dopo la sua calcinazione. Il vasetto ne contenne circa 19 grammi, l' esperienza mi diede 0,190 pel suo calore specifico.

Solfato di potassa. Ho disseccato questo sale ad un calor considerevole per cacciarne l'acqua frapposta; ne ho fatto capire 27 grammi circa nel vasetto, ed ho trovato 0,169 pel suo calore specifico.

Solfato di soda. Ho adoperato questo sale cristallizzato, liquefatto nella sua acqua di cristallizzazione, e disseccato in questo stato sino a renderlo interamente anidro, in un bacino d' argento. Il vasetto se ne trovò contenere 25 $\frac{1}{2}$ grammi. Da due sperienze ben d' accordo tra loro, mi risultò il suo calore specifico 0,263.

Protosolfato di ferro, ossia *solfato ferroso.* Ho impiegato solfato di ferro, ossia vitriolo verde del commercio, che mi sono assicurato esser esente da solfato ferrico, e a cui si tolse l' acqua d' idratazione colle precauzioni convenienti perchè non se ne producesse, per mezzo della calcinazione. Ne ho

fatto tenere 30 grammi nel vasetto, la media di due sperienze mi diede 0,145 pel suo calore specifico.

Solfato di rame. Ho operato sopra solfato di rame puro, preparato espressamente, cristallizzato, e a cui si tolse l' acqua di cristallizzazione per mezzo della calcinazione. Ho trovato per la media di due sperienze 0,180 pel suo calore specifico.

Solfato di zinco. L' ho ottenuto anidro per mezzo della calcinazione del solfato di zinco cristallizzato, ben puro, e trasparente, disseccandolo compiutamente dopo averlo liquefatto nella sua acqua di cristallizzazione: il peso impiegato fu di circa 30 grammi; due sperienze affatto concordi mi diedero 0,213 pel suo calore specifico.

c. Nitrati, rappresentati secondo Berzelius dalla formola $\dot{R}\,\ddot{N}$.

Nitrato di potassa o *nitro ordinario.* Ho impiegato nitro purificato, cristallizzato, che ho stritolato, fatto disseccare ad un calor moderato per togliergli l' acqua frapposta, poichè, come è noto, questo sale non contiene acqua di cristallizzazione. Ne ho fatto capire 26 $\frac{1}{2}$ grammi nel vasetto, e due sperienze affatto concordi mi diedero 0,269 pel suo calore specifico.

Nitrato di soda, o *nitro quadrangolare.* L' ho adoperato cristallizzato, ma l' ho prima fortemente riscaldato come il precedente per togliergli l'acqua frapposta, il peso che ne ho fatto entrare nel vasetto fu di 24 grammi, e l'esperienza mi ha dato pel suo calore specifico 0,240.

G. Ossisali idrati

Solfato di calce idrato, ossia *gesso non calcinato.* Questo è il solo sale idrato che ho sottoposto alle mie sperienze sul calore specifico, la maggior parte degli altri sali più conosciuti non essendo suscettibili di quest' esame allo stato d' idratazione, alcuni fondendosi nella loro acqua di cristallizzazione, e molti perdendo l'acqua di cristallizzazione al calore del-

l' acqua bollente, o passando ad un grado inferiore d'idratazione. Ho impiegato solfato di calce naturale, cioè alabastro gessoso ben bianco e puro, stritolato in minuti pezzi, e di cui il vasetto dell'apparecchio si trovò contenere 23 grammi. L'esperienza mi ha dato 0,302 pel calore specifico di questo solfato di calce idrato, mentre, come si è veduto, quello del solfato di calce anidro non fu trovato che di 0,190.

§. VI.

Determinazione del calore specifico del ghiaccio.

I calori specifici dei diversi corpi che abbiamo esaminati nel §.° precedente sono riferiti, come si suole, a quello dell' acqua liquida preso per unità. Ma sotto l' aspetto teorico è importante di poter paragonare i calori specifici dei corpi solidi a quello dell' acqua, anch' essa sotto forma solida, e di conoscere per conseguenza il calore specifico dell' acqua solida stessa, ossia del ghiaccio, prendendo per unità quello dell' acqua liquida. Alcuni fisici si sono già occupati di questa determinazione. Kirwan e Dalton hanno stimato il calore specifico del ghiaccio 0,9 circa di quello dell'acqua. Ma Clement e Desormes per mezzo di sperienze indirette, e che per lor natura non pajono suscettibili d' una grande precisione, hanno creduto trovare questo calore specifico molto minore, cioè inferiore ai $\frac{3}{4}$ di quello dell' acqua liquida. I miei apparati sovra descritti si addattavano pure a questa determinazione, ma con modificazioni particolari nella maniera di procedere, e di calcolare. Io ne ho fatta quest' applicazione, ed esporrò in questo §. il metodo che ho seguito, e i risultati che ne ho ottenuti. Questi risultati, per le circostanze particolari in cui ho dovuto fare le mie sperienze, non possono ancora riguardarsi come intieramente decisivi; ma essi bastano per fissare sino ad un certo punto le nostre idee sulla questione di cui si tratta; e operando nella stessa maniera

sotto circostanze più favorevoli si può sperare di giungere in seguito a risultati d' una grande precisione.

Il ghiaccio non potendo essere riscaldato al disopra di 0° senza fondersi, le sperienze del genere delle precedenti, per la determinazione del suo calore specifico comparativamente a quello dell' acqua, non potevano farsi, se non per mezzo del raffreddamento d' una quantità di ghiaccio rinchiusa nel vaso interno, al dissotto dello zero, e osservando il grado di raffreddamento che il vaso immerso allora nel liquido del vaso esterno, vi produrrebbe. Ma questo liquido non poteva esser acqua, poichè bisognava adoperarlo ad una temperatura inferiore, o ben poco superiore allo zero, perchè il ghiaccio non vi si fondesse, nemmeno superficialmente, quando vi fosse immerso, e in questo caso o l'acqua del vaso esterno si sarebbe congelata ancora avanti che si facesse l' esperienza, o almeno all' istante che vi si sarebbe immerso il vaso interno contenente il ghiaccio molto raffreddato. Bisognava dunque impiegare un liquido non suscettibile di congelarsi, qual è per esempio lo spirito di vino: e per conchiudere quindi il calore specifico del ghiaccio dal grado di raffreddamento che esso avrebbe prodotto in questo liquido, si sarebbe dovuto, secondo la prima idea che si presenta, determinare con esperienze preliminari il calore specifico di questo liquido medesimo, comparativamente all' acqua. Ma ciò non era assolutamente necessario: poichè si è veduto, che anche quando si adopera l'acqua per liquido nel vaso esterno, la determinazione del calore specifico della sostanza contenuta nel vaso interno non si fa definitivamente, se non pel rapporto dell' effetto calorifico di questa sostanza a quello che produce l'acqua ad esso sostituita nel vaso interno in un' esperienza comparativa; ed è facile lo scorgere, che qualunque sia la natura, e la quantità del liquido contenuto nel vaso esterno, e qualunque sia per conseguenza l' equivalente in acqua della riunione di questo liquido, della materia del vaso esterno, e del termometro che vi sta immerso, le nostre formole applicate a due spe-

rienze, l' una fatta sopra una data sostanza qualunque, l'altra sull' acqua possono darci, mediante una conveniente modificazione il rapporto del calore specifico di questa sostanza a quello dell' acqua, purchè si conosca l' equivalente in acqua della materia del vaso interno. Infatti partendo dai risultati d'un' sperienza fatta sopra una sostanza qualunque, le nostre formole ci danno immediatamente il valore della quantità che abbiamo chiamata X, cioè della quantità $mc+M$, nella quale c è il calore specifico della sostanza di cui si tratta prendendo per unità quello dell'acqua, m la quantità in peso di questa sostanza contenuta nel vaso interno, prendendo per unità l' equivalente totale in acqua del liquido contenuto nel vaso esterno, della materia stessa di questo vaso, e del termometro, e M il peso della materia del vaso interno, ridotto pure al suo equivalente in acqua e nella stessa unità. Ora se si indica con Y il peso totale, in grammi per esempio, del liquido del vaso esterno, di questo vaso stesso, e del termometro, ridotto al suo equivalente in acqua, e che si suppone quì ignoto, con n il peso della sostanza rinchiusa nel vasetto, anche in grammi, e con N il peso dell' equivalente del vasetto in acqua, espresso pure in grammi, si avrà $m = \frac{n}{Y}$, $M = \frac{N}{Y}$, e l' espressione di X diverrà così $\frac{cn+N}{Y}$. Quando la sostanza contenuta nel vasetto è l' acqua, indicando il peso di quest' acqua con n', quest'espressione si riduce ad $\frac{n'+N}{Y}$, poichè allora $c = 1$. Se dunque si saranno fatte due sperienze comparative, l' una sopra una data sostanza qualunque, l' altra sull' acqua, esse ci daranno i valori di $\frac{cn+N}{Y}$, che continueremo ad indicare con X, e di $\frac{n'+N}{Y}$, che indicheremo con X'. Dividendo la prima di queste quantità per la seconda, si avrà $\frac{cn+N}{n'+N} = \frac{X}{X'}$ (la quantità ignota Y scomparendo

nella divisione), d' onde si trarrà

$$c = \frac{\frac{X}{X'}(n' + N) - N}{n}.$$

Per applicar questo alla determinazione del calore specifico del ghiaccio non si tratta che di fare una o più esperienze sul ghiaccio per raffreddamento, nella maniera sovra indicata, ed altre comparative sull' acqua collo stesso apparecchio, e mettendo nel vaso esterno lo stesso liquido, ed in ugual quantità che nelle sperienze sul ghiaccio. Ma queste sperienze sull' acqua non possono farsi per raffreddamento al dissotto dello zero; bisognerà farle come al solito per riscaldamento, e solo, per rendere la comparazione meno soggetta ad errore, converrà prender l' acqua del vasetto riscaldata a un dipresso di altrettanti gradi al disopra della temperatura del liquido esterno, di quanti il ghiaccio sarà stato preso raffreddato al dissotto di questa temperatura, e paragonare così il raffreddamento del liquido esterno prodotto dal ghiaccio col riscaldamento del medesimo prodotto dall' acqua.

Per fare queste sperienze io ho creduto potermi dispensare dal servirmi d'un freddo artifiziale per raffreddare il ghiaccio, mezzo che avrebbe presentate non piccole difficoltà nell' esecuzione, per le manipolazioni che avrebbe richieste, e avuto riguardo sopratutto alla necessità di mantenere questo freddo per un intervallo di tempo abbastanza lungo, e ad un grado costante per esser sicuro che tutta la massa del ghiaccio avesse presa la stessa temperatura. Io mi era quindi disposto ad approffittare del freddo naturale dell'inverno or ora scorso, e adoperando l' apparecchio di più grandi dimensioni di cui ho parlato al fine del §. 2.°, e di cui già mi sono servito per alcune delle sperienze sul carbone, io sperava di ottenere nel vaso esterno, per un freddo di 12 o 15 C sotto allo zero a cui fosse stato esposto il ghiaccio nel vasetto interno, un raffreddamento sufficiente per poterne dedurre con

qualche precisione il risultato di cui si tratta. Sfortunatamente quest' inverno fu poco favorevole a queste ricerche, poichè il più gran freddo che abbiamo avuto a Torino non fu che di otto o dieci gradi C, e ciò solo per pochi giorni. Non ho però mancato di approffittare di questi pochi giorni di freddo per le progettate sperienze, onde avere almeno un risultato approssimativo, che ci desse qualche probabilità in favore dell' una o dell'altra delle estimazioni diverse che si son date del calore specifico del ghiaccio. In ogni caso si potranno riguardare queste sperienze che passo ad esporre, come un primo saggio dell'applicazione del metodo da me indicato, e della possibilità di ottenerne la proposta determinazione.

Il vaso interno dell' apparecchio di cui ho fatto uso in queste sperienze può contenere circa 110 grammi d' acqua riempiendolo sino al suo collo, ma siccome quest' acqua dovea dilatarsi per congelazione a cui io dovea esporla per fare l' esperienza sul ghiaccio, non ne ho messo nel vaso, che una quantità un po' minore, e di cui il peso si trovò essere di 99 grammi, affinchè per la dilatazione prodotta dalla congelazione, non venisse ad esserne espulso il turacciolo di sovero con cui otturai l'orifizio del vaso. Questo turacciolo era bene aggiustato, e fatto entrare a forza nel collo, ed anche coperto con mastice all' orlo del collo, per impedire ogni svaporazione dell' acqua. Lasciai il vasetto così pieno d' acqua, e otturato esposto all' aria fuori della finestra per due notti di forte gelo, e nel giorno intermedio nel quale il termometro all'ombra salì appena sopra allo zero, cosicchè io non poteva più dubitare che l' acqua non vi fosse perfettamente congelata, come altronde lo comprovava la cessazione di quel rumore nell' agitazione dell' acqua, che prima si faceva sentire scuotendo il vaso, come io andava facendo di quando in quando per facilitare e promuovere la congelazione. Il vaso restò quindi ancora fuori della finestra per tutto il giorno e la notte seguente sino alle ore 8 del mattino in cui ho fatto la prima sperienza. La temperatura dell'aria esterna segnata da un ter-

mometro posto accanto al vaso, e ridotta a quella che avrebbe segnata il termometro dell'apparecchio, con cui io l'avea prima diligentemente paragonato, era allora — 8,3 C. Il vaso esterno dell' apparecchio posto in una camera ove la temperatura non era che di alcuni gradi sopra allo zero, col termometro fissato verticalmente contro alla parete interna della sua capacità, era stato riempiuto di spirito di vino ordinario sino ad una linea segnata tutt' intorno internamente al dissotto dell' orlo, ad una altezza tale che immergendovi poi il vasetto, lo spirito di vino si elevasse affatto vicino all' orlo stesso. Questo spirito di vino era stato per qualche tempo esposto nel fiasco che lo conteneva, all'aria esterna prima di versarlo nel vaso, onde la sua temperatura fosse poco diversa da quella del ghiaccio fondente, e dopo averlo versato si lasciò per qualche tempo l' apparecchio in riposo, perchè la temperatura si potesse equilibrare in tutte le sue parti. Nel momento dell' esperienza la temperatura segnata dal termotro immerso nello spirito di vino era — 0°, 8. Quella della camera era + 4°, cosicchè la differenza di temperatura tra l' aria della camera, e lo spirito di vino si trovava di 4°, 8. Aprii rapidamente la finestra, e presi pel collo il vasetto contenente il ghiaccio, con mollette che aveano a un dipresso la temperatura dello spirito di vino, e lo portai tosto nella camera dell' esperienza, ove l' immersi nel vaso esterno, cosicchè rimanesse coperto dallo spirito di vino sino al disopra del turacciolo. In questa esperienza la differenza iniziale di temperatura tra il ghiaccio contenuto nel vasetto, e quella dello spirito di vino nel vaso esterno era, come si vede di 8°, 3 — 0,8 ossia 7°, 5. Il termometro immerso nello spirito di vino discese subito dopo l' immersione del vasetto, dapprima rapidamente, poi molto lentamente, cosicchè 5 $\frac{1}{2}$ minuti dopo l' immersione esso segnava — 3°, 3, ed esso restò sensibilmente stazionario a questa temperatura sino a 9 $\frac{1}{2}$ minuti dopo l' immersione; cominciò allora a mostrarsi un poco al disopra di questo punto, e continuò quindi ad ascendere di nuovo

vie-maggiormente. Si può dunque prendere pel massimo del raffreddamento prodotto nello spirito di vino, e in tutto il sistema del vaso esterno dall' immersione del vasetto 3,° 3 — 0°, 8 = 2°,5, e questo massimo dee essere accaduto 7′ $\frac{1}{2}$ ossia 450″ dopo l' immersione, epoca intermedia tra 5′ $\frac{1}{2}$, e 9′ $\frac{1}{2}$. Si avrebbe dunque, per l' applicazione delle nostre formole a quest' esperienza, ritenendo sempre il segno positivo pel riscaldamento, e per conseguenza il negativo pel raffreddamento,

$$T = -7°,5;\ T' = -2°,5;\ h = +4°,8;\ t = 450''.$$

In una seconda sperienza fatta un altro mattino in circostanze simili, e colle stesse precauzioni, la temperatura dell' aria esterna a cui il vasetto contenente il ghiaccio era stato esposto tutta la notte era, al momento della sperienza, ogni correzion fatta —7°,2: la temperatura iniziale dello spirito di vino nel vaso esterno era +0°,1; epperciò la differenza iniziale di temperatura 7°,3. La temperatura dell'aria della camera era + 2°, e per conseguenza superiore di 1°,9 a quella iniziale dello spirito di vino. Il termometro dell' apparecchio discese in 4′ $\frac{1}{2}$ dopo l' immersione a —2°, 1, e restò allora sensibilmente fisso sino a 10′ $\frac{1}{2}$ dopo l' immersione, al qual tempo cominciò a riascendere. Può dunque anche quì il massimo del raffreddamento riferirsi a 7′ $\frac{1}{2}$ ossia 450″ dopo l' immersione, tempo intermedio tra 4′ $\frac{1}{2}$ e 10′ $\frac{1}{2}$; e questo massimo fu quì di 2°,1 + 0,1 = 2°,2. Si avrebbe dunque per l' applicazione delle formole a quest' esperienza,

$$T = -7°,3;\ T' = -2,2;\ h = +1,9,\ t = 450''.$$

Si potrebbero calcolare separatamente le due sperienze; ma siccome le quantità indicate sono poco diverse dall' una all' altra sperienza, eccettuati i valori di h, che non entrano nelle formole che come correzione all' effetto principale, si

può, senza differenza notabile nel risultato prender le medie tra i valori corrispondenti di T, T', ed h e si avrà così pei valori di queste quantità

$$T = -7°,4\ ;\ T' = -2°,35\ ;\ h = +3,5\ ;\ t = 450''.$$

Se si suppone, come credo potersi fare senza error sensibile, che la dissipazione del freddo fosse quì in un minuto secondo di tempo, e per ciascun grado di differenza di temperatura dall' aria ambiente la stessa che avea luogo, secondo un' esperienza che io ne avea fatta, in quest' apparecchio, quando il liquido contenuto nel vaso esterno era l' acqua, e che io avea trovata 0°,0003, poco diversa da quella che ho indicata per l'apparecchio più piccolo, 0°,00034, si avrà at=0,135, e hat = 0,452 nella media delle due sperienze. Applicando le nostre formole a questi valori, si trova col calcolo approssimato senza logaritmi X=0,750, e col calcolo logaritmico più esatto X = 0,731.

Ho fatto le sperienze comparative sull' acqua liquida, lasciando nel vaso interno dell' apparecchio la stess' acqua che era stata congelata nelle sperienze precedenti, dopo averne fatto fondere compiutamente il ghiaccio coll' esporre il vaso ad un blando calore continuato, senza sturarlo. Per comunicare al vaso, e all' acqua in esso contenuta una temperatura determinata di un numero di gradi al disopra dello zero, a un dipresso uguale a quello dei gradi sotto allo zero nelle sperienze sul ghiaccio, ho portato il vaso in una camera riscaldata da una stufa, ma dove si era da più ore cessato di far fuoco, e in un angolo rimoto dalla stufa, e difeso dal suo raggiamento immediato; il termometro stesso dell'apparecchio fu posto sotto al vaso, e colla boccietta in contatto col suo fondo; il vasetto fu così lasciato per alcune ore, finchè la temperatura indicata dal termometro vi rimase sensibilmente stazionaria, e dovea essere la stessa che quella del vaso e dell' acqua in esso contenuta. Ho fatto in questo

modo tre esperienze, ma non ne ho calcolato che una sola, di cui i risultati furono a un dipresso medii tra quelli delle altre due sperienze, e in cui l'andamento dei fenomeni mi parve più regolare. In questa esperienza la temperatura del vasetto segnata dal termometro era + 12° C; lo trasportai rapidamente colle mollette nella camera destinata all'esperienza, e dove già avea disposto il vaso esterno dell'apparecchio, pieno di spirito di vino della stessa qualità di quello adoperato nelle sperienze sul ghiaccio, e sino alla stessa altezza segnata internamente sulle pareti del vaso, con entro lo stesso termometro di cui ho parlato. La temperatura dell'aria della camera era + 5°, e quella dello spirito di vino nel momento in cui v'immersi il vasetto era + 3°,4, cosicchè la differenza iniziale di temperatura tra il vasetto e lo spirito di vino era 12° — 3°,4 = 8°,6, e l'eccesso della temperatura dell'aria sopra quella iniziale dello spirito di vino 5° — 3°,4 = 1°,6. Il termometro immerso nello spirito di vino ascese, dopo l'immersione sino a + 7°, dopo il che cominciò a ridiscendere. Il massimo del riscaldamento fu dunque di 7° — 3°,4 = 3,6; e prendendo pel momento del massimo il mezzo dell'intervallo di tempo per cui il termometro segnò sensibilmente 7°, questo massimo ebbe luogo 10′ ossia 600″ dopo l'immersione. Abbiamo dunque quì per l'applicazione delle nostre formole

$$T = 8°,6;\ T' = 3°,4;\ h = 1°,6;\ t = 600'',$$

e supponendo ancora $a = 0,0003$, avremo $at = 0,18$, ed $hat = 0,288$. Con questi valori si ottiene dalla formola approssimata senza logaritmi $X' = 0,799$, e dalla formola logaritmica, $X' = 0,791$ per l'acqua, mentre pel ghiaccio quest'ultima formola ci ha dato 0,731 soltanto. Per conchiudere da questo il calore specifico del ghiaccio prendendo per unità quello dell'acqua, secondo le nostre sperienze, non si ha che a sostituire nella formola sopra stabilita $c = \frac{\frac{X}{X'}(n'+N) - N}{n}$ i valori

relativi a queste sperienze, cioè $n = n' = 99$ (la quantità del ghiaccio e quella dell'acqua nel vaso interno essendo quì la stessa) $N = 4,94$, e per conseguenza $n+N = 103,94$; $X = 0,731$; $X' = 0,791$, e si otterrà così $c = 0,920$.

Così il calore specifico del ghiaccio secondo le nostre sperienze sarebbe circa $\frac{9}{10}$ di quello dell'acqua, il che si accorderebbe colle indicazioni di Kirwan e Dalton. Ma queste sperienze furono fatte sopra una differenza iniziale di temperatura troppo piccola, perchè i risultati se ne possano considerare come affatto esatti e sicuri, poichè una piccola frazione di grado d'errore nelle osservazioni del raffreddamento e del riscaldamento basterebbe per cangiarli notabilmente. Se per esempio in vece di prender la media tra le due sperienze sul ghiaccio, si fosse fatto il calcolo soltanto sui dati somministrati dalla seconda, si sarebbe ottenuto pel valore di X relativo al ghiaccio col calcolo logaritmico soltanto 0,602, e paragonando col valore di X' relativo all'acqua 0,791, si troverebbe pel calore specifico del ghiaccio 0,749, ossia i tre quarti circa di quello dell'acqua, il che si accorderebbe da vicino col risultato di Clement e Desormes 0,720. È però probabile che questo risultato pecca per difetto, e il complesso delle nostre sperienze pare condurci ad ammettere, che se il calore specifico del ghiaccio non giunge a 0,9 circa, come l'abbiamo conchiuso da quelle che abbiamo calcolato, è almeno espresso da un numero probabilmente più grande di quello di Clement e Desormes.

PARTE II.

Considerazioni sui calori specifici de' corpi relativamente alla teoria atomistica, e patricolarmente sulla legge atomica del calore specifico de' corpi composti.

§. I.

Dell' applicazione della legge di Dulong e Petit agli atomi de' corpi semplici.

Non possiamo sperare di occuparci con qualche successo della determinazione d' una legge del calore specifico de' corpi composti, relativamente alla costituzione de' loro atomi, se prima non ci formiamo un' idea esatta della maniera con cui la legge di Dulong e Petit si applica ai diversi corpi semplici. Ho dunque dovuto cominciare le mie ricerche da questo punto, riunendo per tale oggetto i risultati delle mie sperienze a quelli già conosciuti sul calore specifico di molti di questi corpi.

La legge che i Signori Dulong e Petit hanno stabilita secondo le loro sperienze sopra un gran numero di metalli, e sopra lo zolfo consiste in questo, che il calore specifico degli atomi di questi corpi è uguale per tutti, od in altri termini, che il calore specifico di questi corpi a peso uguale, moltiplicato pel peso del loro atomo espresso in una stessa unità, dà, almeno prossimamente, un prodotto costante per tutti. Attribuendo allo zolfo il peso dell'atomo che Berzelius gli ha assegnato prendendo per unità quello dell' ossigeno, cioè circa 2, il numero che esprime questo prodotto, secondo il calore specifico dello zolfo espresso in parti di quello dell' acqua preso per unità, è a un dipresso 0,375 ossia $\frac{3}{8}$. Ora secondo le sperienze conosciute, e in particolare secondo quelle di Dulong e Petit, questo stesso numero esprime il prodot-

to analogo pei diversi metalli, purchè però in generale, si prenda per l' atomo di questi metalli, relativamente a quello dell' ossigeno, la metà soltanto di quello che Berzelius loro attribuiva all' epoca in cui i Signori Dulong e Petit hanno pubblicata la loro memoria sopra quest' oggetto. Ho fatto osservare, fin dall' anno 1824 nella mia *Prima Memoria sopra la densità de' corpi solidi e liquidi* (Accademia Reale di Torino T. XXX.), la necessità che ne risultava di ridurre così in generale alla metà gli atomi de' metalli allora ammessi da Berzelius, per metterli in armonia coll' atomo assegnato da questo chimico allo zolfo, e Berzelius stesso ha, come è noto, recentemente addottata questa riduzione.

Il sistema degli atomi dello zolfo, e dei metalli essendo così fissato, la legge di Dulong e Petit viene a dire che il calore specifico d' un atomo, o d' un numero dato di atomi di uno di questi corpi è 0,375, prendendo per unità il calore d' un peso d' acqua eguale a quello d' un atomo, o dello stesso numero dato di atomi d' ossigeno, d'onde segue che se la stessa legge si applicasse all'ossigeno di cui si è preso l'atomo per unità, od in altri termini, se il rapporto che si è addottato tra l' atomo dello zolfo, e quello dell' ossigeno è realmente quello che esiste tra gli atomi di queste due sostanze, ai quali la legge di cui si tratta si riferisce, il calore specifico dell' ossigeno allo stato solido sarebbe 0,375, prendendo come al solito per unità dei calori specifici quello dell' acqua a peso uguale. Ma l' ossigeno non potendo ottenersi allo stato solido, l' esperienza non ci ha indicato nulla sul calore specifico, che esso avrebbe in questo stato, e nulla ci assicura che il rapporto che si ammette, seguendo Berzelius, tra gli atomi dello zolfo, e dell' ossigeno, sia realmente quello che esiste tra gli atomi di questi due corpi a cui la legge è applicabile, e che per evitare ogni ambiguità si potrebbero chiamare *atomi termici*, e le determinazioni dei calori specifici degli altri corpi di cui abbiamo parlato non dandoci, partendo dalla legge di Dulong e Petit, se non il rapporto

che dee esistere tra l' atomo termico dello zolfo, e quello di questi corpi, ne segue che non conosciamo ancora con certezza il peso reale degli atomi termici dei metalli e dello zolfo, prendendo per unità l' atomo anch'esso termico dell'ossigeno; si potrebbero essi raddoppiare triplicar ecc. tutti insieme, o ridurli tutti alla metà, al terzo, ecc. senza che la legge della costanza del calore specifico degli atomi cessasse d'esistere tra i diversi metalli e lo zolfo.

Il lavoro recente del Sig. Dulong sul calore specifico dei gaz ci fa conoscere che il calore specifico de' corpi semplici in questo stato, almeno per quei gaz su cui egli ha sperimentato, compreso il gaz ossigeno, è uguale a volume uguale, cioè che, se come tutto ci induce a crederlo, volumi uguali di tutti i gaz a pressione, e temperatura uguale contengono lo stesso numero di atomi o molecole integranti quali si trovano allo stato gazoso, i rapporti tra i pesi di questi *atomi gazosi* sono gli stessi che quelli che esistono tra gli *atomi termici* riferiti a questo stesso stato gazoso; ossia che gli atomi termici dei corpi semplici gazosi, prendendo per unità l'atomo termico del gaz ossigeno, sono espressi dagli stessi numeri che esprimono i pesi degli atomi gazosi, ovvero le densità dei gaz, prendendo per unità l' atomo gazoso dell' ossigeno, o la densità del suo gaz. Supponendo che questo rapporto, a cui l' esperienza non ci ha finquì presentata alcuna eccezione ne' gaz semplici, si estendesse realmente ad essi tutti, si potrebbe credere, che esso sussisterebbe anche tra gli atomi degli stessi corpi allo stato solido e liquido, quali essi sono indicati dal calore specifico de' medesimi. Se dunque la densità dello zolfo allo stato di gaz, ossia del vapore di zolfo fosse conosciuta, e fosse realmente a un dipresso doppia di quella del gaz ossigeno, conformemente al rapporto assegnato da Berzelius agli atomi di questi corpi, si potrebbe ammettere, quando niun altro fatto vi si opponesse, che questo fosse pur anche il rapporto tra i veri atomi termici de' medesimi, e che i valori degli atomi termici dei diversi corpi semplici,

prendendo per unità quello dell'ossigeno, fosse quale si è finquì supposto nell'applicazione della legge di Dulong e Petit. Si può sperare che non si tarderà molto a conoscere sperimentalmente questa densità del vapor di zolfo; ma sinora essa ci è ancora ignota, e siamo così ancor privi di questo mezzo di fissare, almeno in una maniera probabile, gli atomi termici degli altri corpi, che non si possono ottenere se non allo stato solido o liquido, prendendo per unità quello dell'ossigeno. Infatti la determinazione di Berzelius è fondata sulla supposizione che l'acido solforico sia formato di 3 volumi di gaz ossigeno ed uno di vapor di zolfo, e l'acido solforoso di 2 volumi di gaz ossigeno ed uno di vapor di zolfo. Ma sarebbe possibile che l'acido solforico non contenesse che 1 $\frac{1}{2}$ volume di gaz ossigeno per uno di vapor di zolfo, e che l'acido solforoso fosse formato di volumi uguali d'ossigeno e di questo vapore, e che per conseguenza la densità del vapore o gaz di zolfo non fosse che la metà di quella che risultava dalla supposizione di Berzelius. In questo caso il volume del gaz acido solforoso che, come è noto, è uguale a quello del gaz ossigeno che esso contiene, sarebbe pure uguale a quello del vapore di zolfo in vece di esserne doppio, vale a dire vi sarebbe condensazione de' due volumi di gaz componenti in un solo, il che non ha nulla di straordinario. La cognizione diretta del calore specifico del vapor di zolfo ci manca a più forte ragione che quella della sua densità; vi si potrebbe supplire sino ad un certo punto con quella del calore specifico d'un gaz composto in cui entrasse lo zolfo, per esempio del gaz acido solforoso; ma le sperienze di Dulong non comprendono alcuno di questi gaz.

In questo stato di cose la fissazione degli atomi termici, che si è ammessa in seguito alle sperienze di Dulong e Petit, per l'applicazione della loro legge ha sempre qualche cosa d'arbitrario, e non ci resta che a provare, se la comparazione del calore specifico di altri corpi semplici a cui non si è fatta finora quest'applicazione, colle cognizioni che si posso-

no avere, o colle presunzioni che si possono fare sulla densità del loro gaz o vapore, potesse servire a fissare in qualche modo le nostre idee a questo riguardo.

Egli è principalmente con questa vista, che io ho cercato di stabilire colla maggior certezza possibile colle mie sperienze, come si è veduto nella prima parte di questa Memoria, il calore specifico del carbonio allo stato solido, quale si trova nelle diverse varietà di carbone, e passo ora ad esaminare le induzioni che se ne possono trarre relativamente al punto di cui quì ci occupiamo.

Secondo le mie sperienze sul carbone, e sul grafite, e quelle di Crawford sul carbone, non si può dubitare che il calore specifico di questa sostanza non sia prossimamente 0,25, ossia un quarto di quello dell'acqua. Secondo Berzelius, cioè supponendo che l'acido carbonico sia formato d'un atomo di carbonio e 2 d'ossigeno, ossia d'un volume di vapor di carbonio e 2 volumi di gaz ossigeno, il peso dell'atomo del carbonio, ossia la densità del suo gaz sarebbe, 0,764 prendendo per unità quella dell'ossigeno. Ora 0,25. 0,764 = 0,191, numero che non è che circa la metà di 0,375, valore del prodotto analogo dato dallo zolfo, e dai diversi metalli nelle supposizioni finquì ammesse nell'applicazione della legge di Dulong e Petit. Ne seguirebbe adunque, che socondo la legge così applicata l'atomo del carbonio dovrebbe esser doppio di quello ammesso da Berzelius, cioè dovrebbe essere 1,528; infatti si avrebbe allora 1,528. 0,25 = 0,382, numero poco diverso da 0,375, e reciprocamente partendo da quest'ultimo numero si avrebbe pel calore specifico del carbonio, che soddisfarebbe esattamente alla legge $\frac{0,375}{1,528} = 0,2454$ o con tre decimali 0,245, quasi identico col risultato delle sperienze. Ma in questo caso, supponendo che gli atomi termici avessero lo stesso rapporto tra loro che gli atomi gazosi, ne seguirebbe che nella formazione dell'acido carbonico un volume di vapor di carbonio prendesse 4 volumi di gaz ossigeno, e il

volume del gaz composto, uguale a quello di quest' ultimo gaz fosse quadruplo di quello del vapor di carbonio ; e che nella formazione del gaz ossido di carbonio un volume di gaz di carbonio psendesse due volumi di gaz ossigeno, e il volume del gaz composto divenisse doppio di quello del gaz ossigeno, o quadruplo di quello del gaz di carbonio. Questa quadruplicazione del volume del gaz composto relativamente al volume del gaz componente che entra in minor volume, sarebbe straordinaria e senza esempio nelle combinazioni gazose, il caso il più comune in queste combinazioni essendo, come altrove l' ho fatto osservare (Memoria già citata, nel *Journal de Physique Juillet* 1811. ed altre posteriori) quello d' un semplice raddoppiamento di volume relativamente al gaz che entra in minor volume nel composto, e la sola eccezione di cui si abbiano esempi essendo quella, che il volume del gaz composto sia uguale a quello di questo gaz di minor volume. L' ipotesi indicata avrebbe dunque già qualche cosa d' improbabile per questa ragione. Ma inoltre questa costituzione dei gaz acido carbonico e ossido di carbonio non si accorderebbe col calore specifico di questi gaz composti, secondo la legge che ho stabilito a questo riguardo nella nota pubblicata nel *Bulletin* del Sig. Ferussac (*Sur la relation entre les chaleurs specifi.* ec. Mars 1830.) e di cui ho già parlato nell' Introduzione. Infatti secondo questa legge il calore specifico di questi gaz dovrebbe allora essere, per l' acido carbonico $\sqrt{1+\frac{1}{4}}=1{,}118$, e pel gaz ossido di carbonio $\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{4}}=\sqrt{\frac{3}{4}}=0{,}866$, in vece che, secondo le sperienze di Dulong, questi calori specifici sono $\sqrt{1{,}5}=1{,}225$ pel primo di questi gaz e $\sqrt{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}}=1$ pel secondo, prendendo per unità quello dell' aria, o quello dell' ossigeno a volume uguale, come debbono esserlo secondo la legge partendo dalla costituzione di questi gaz che risulta dall' atomo di Berzelius pel carbonio. Se dunque gli atomi termici allo stato solido hanno tra loro lo stesso rapporto che allo stato di gaz, la supposizione che l' atomo termico del carbonio, prendendo per uni-

tà l' atomo termico dell' ossigeno, sia doppio di quello che suppone Berzelius per l'atomo chimico è inammissibile, e l' atomo di Berzelius dee ritenersi anche per le considerazioni relative al calore specifico.

Ciò posto, poichè la legge di Dulong e Petit applicata al calore specifico del carbonio allo stato solido, ci dà l' atomo termico di questa sostanza, relativamente a quelli dello zolfo, e dei metalli in generale doppio di quello che risulterebbe dalle supposizioni ammesse sopra questi atomi, converrà conchiuderne che sono questi ultimi atomi che debbono ridursi alla metà di quello che si supponeva, cioè che l' atomo termico dello zolfo prendendo per unità quello dell' ossigeno, non è che la metà dell'atomo chimico o gazoso che Berzelius attribuisce allo zolfo prendendo per unità l' atomo chimico o gazoso dell' ossigeno, e che per conseguenza se gli atomi termici sono costantemente l' espressione anche degli atomi gazosi, il vapore di zolfo non dee avere che la metà della densità che corrisponderebbe a quest' atomo di Berzelius, e gli acidi solforico e solforoso debbono aver la composizione atomica che risulta da questa riduzione, e di cui abbiamo sopra fatta notare la possibilità. Gli atomi termici, e probabilmente gli atomi gazosi dei metalli debbono allora essere ridotti anch' essi in generale alla metà del valore che Berzelius loro attribuisce attualmente, e così al quarto di quello che egli loro attribuiva più anticamente. Dirò di più; questa conseguenza probabile della teoria termo-atomica sarebbe già realizzata, quanto ad uno di questi metalli, il mercurio, dalle sperienze dirette del Sig. Dumas, che ha trovata infatti la densità del vapore di mercurio, la metà soltanto di quella che risulterebbe dall' atomo attuale di Berzelius.

Ammettendo questo sistema, cioè ritenendo per l' atomo del carbonio il valore 0,764 che Berzelius gli attribuisce, prendendo per unità quello dell' ossigeno, e riducendo alla metà gli atomi termici dello zolfo e dei metalli, ai quali Dulong e Petit avevano già applicata la loro legge, ne seguirà che il

prodotto del calore specifico di tutti questi corpi prendendo per unità quello dell' acqua, pel peso dei loro atomi, non sarà più 0,375, ma la metà soltanto di questo numero, cioè 0,1875 ossia $\frac{3}{16}$ in vece di $\frac{3}{8}$, e questo numero 0,1875 sarà pur quello che esprimerà il calore specifico che avrebbe l' ossigeno allo stato solido prendendo per unità quello dell'acqua; vale a dire il calore specifico dell' ossigeno solido sarebbe, in queste supposizioni, a un dipresso lo stesso, che le sperienze manifestano nello zolfo, il che è una conseguenza necessaria di ciò che l' atomo dello zolfo è ora supposto a un dipresso uguale a quello dell'ossigeno, in vece di esserne doppio.

Questa riduzione del calore specifico dell' ossigeno allo stato solido a 0,1875, invece di 0,375, a cui equivale essenzialmente la riduzione di cui abbiamo parlato degli atomi termici dello zolfo e dei metalli, può anche appoggiarsi in una maniera probabile sopra un'altra considerazione. Egli è naturale il credere che a peso uguale il calore specifico d'un corpo allo stato di gaz, posta la stessa costituzione atomica, debba essere più considerevole che allo stato solido o liquido, quando il calore specifico del gaz è preso sotto pressione costante, e che non debba almeno essergli inferiore anche quando è preso sotto volume costante; poichè ciascun atomo pare doversi circondare d' una quantità di calorico maggiore, e certamente non minore per riscaldarsi d' un dato numero di gradi allo stato di gaz, in cui questo atomo si trova ad una maggior distanza dagli altri atomi, che allo stato solido o liquido, anche quando non si permette al gaz di dilatarsi per l'accrescimento di calorico, e la quantità di calorico che lo stesso atomo prende poi per la dilatazione del gaz sotto pressione costante dee ancor essere di sopra più. Ora secondo le sperienze di Berard e de la Roche, il risultato delle quali a questo riguardo può credersi almeno approssimato, il calore specifico dell'aria sotto pressione costante, è a peso uguale 0,27 circa prendendo quello dell'acqua per unità. Dividendo per 1,421 che è il rapporto dei calori specifici dell'aria a volume

costante, e a pressione costante, si ottiene 0,19 pel calore specifico dell' aria sotto volume costante prendendo sempre per unità quello d' un peso uguale d' acqua. Il calore specifico sotto volume costante essendo lo stesso pel gaz ossigeno che per l' aria a volume uguale dei due fluidi, e il peso d' un volume di gaz ossigeno essendo a quello d' un ugual volume d' aria atmosferica come 1,1026 ad 1, o come 1 a 0,90695, ne segue che a peso uguale il calore specifico del gaz ossigeno sotto volume costante sarà 0,19. 0,90695, ossia 0,1723 di quello dell' acqua. Questo numero è alquanto inferiore a quello a cui le nostre considerazioni ci hanno condotti pel calore specifico da attribuirsi all'ossigeno allo stato solido invece di essere o uguale o alquanto superiore a questo, come il ragionamento parrebbe richiederlo; ma la differenza è abbastanza piccola perchè possa rigettarsi sopra l'inesattezza della sperienza di Berard e de la Roche, che è infatti d' un genere delicatissimo, trattandosi di paragonare i calori specifici dell' aria e dell' acqua che non possono formare pesi uguali se non sotto volumi affatto diversi. Se si supponesse che il calore specifico dell' atomo gazoso dell'ossigeno, sotto volume costante, fosse soltanto uguale a quello che noi abbiamo attribuito al suo atomo allo stato solido, cioè fosse precisamente 0,1875 prendendo quello dell' acqua a peso uguale per unità, il calore specifico dell' aria sotto lo stesso peso, sempre a volume costante, dovrebbe essere 0, 1875 1,1026 = 0,2067, e quello sotto lo stesso peso ancora, ma sotto pressione costante diverrebbe 0,2067. 1,421=0,2937 in vece di 0,27 che l' esperienza ha dato a Berard e de la Roche. Questo divario è poco considerevole, e si può ancora supporre che il calore specifico dell' ossigeno gazoso e conseguentemente quello dell' aria siano alquanto maggiori, senza uscire dai limiti degli errori possibili di questo genere d' esperienze. Così secondo le nostre supposizioni il calore specifico dell'ossigeno gazoso sotto volume costante sarebbe almeno uguale a quello dell' ossigeno allo stato solido, a peso uguale, e quel-

R. Università di Torino
Istituto di Fisica

lo dell' ossigeno gazoso sotto pressione costante sarebbe poi più grande che quello di tutta la quantità, che è richiesta dal rapporto dei due calori specifici a volume costante, e a pressione costante, ossia dall' assorbimento di calorico che accompagna la dilatazione dei gaz quando si riscaldano sotto pressione costante. Se al contrario si supponesse che il calore specifico del gaz ossigeno allo stato solido fosse 0,375, al che ci condurrebbe la maniera con cui finora si è applicata la legge di Dulong e Petit, esso sarebbe già molto più grande che quello che si può attribuire al gaz ossigeno a peso uguale, secondo le sperienze di Berard e de la Roche, anche sotto pressione costante, e a più forte ragione sotto volume costante, il che non ha alcuna probabilità.

Tutto pare dunque riunirsi in favore del sistema che abbiamo proposto, ed io lo seguirò nel resto di questa Memoria, come il più semplice e il più naturale nello stato attuale delle nostre cognizioni. Debbo però osservare che esso ha per base generale il principio che gli atomi termici dei corpi semplici sia allo stato gazoso, sia allo stato solido, quali l' osservazione immediata dei calori specifici li determina, abbiano tra loro gli stessi rapporti che gli atomi gazosi ossia le densità di questi corpi allo stato gazoso. Ora sarebbe possibile che l' esperienza venisse un giorno a dimostrare che questa identità di rapporto non fosse senz' eccezione; ma in questo caso è probabile che la discordanza dipenderebbe da riunioni, o divisioni d' atomi che succederebbero nel passaggio d'un corpo dallo stato gazoso allo stato solido o liquido, per formare l'atomo conveniente al nuovo stato di esso e reciprocamente; od anche da un numero più o men grande di atomi affatto elementari, ed indivisibili, che potrebbe concorrere alla formazione della molecola integrante dei corpi semplici allo stato gazoso medesimo, e allora per istabilire la teoria atomistica sopra una base costante, converrebbe risalire a questi atomi semplici primitivi, che sarebbero pure i veri atomi termici. Supponiamo per esempio che l' esperienza facesse vedere che

la densità del gaz di zolfo fosse veramente quale l' ha supposta Berzelius, e non la metà soltanto, come l' abbiamo ammesso per l'atomo termico allo stato solido, relativamente a quello dell' ossigeno; potrebbe allora inoltre accadere, o che l' atomo termico del gaz o vapore di zolfo si trovasse anch'esso conforme a questa determinazione, secondo l' analogia degli altri gaz semplici, di cui il Signor Dulong ha esaminato il calore specifico, o che quest' analogia stessa venisse a mancare tra il gaz di zolfo, e gli altri gaz semplici. Nel primo caso si dovrebbe considerare l' atomo di Berzelius come l' atomo termico dello zolfo, e attribuire la violazione apparente della legge di Dulong e Petit che questa sostanza presenterebbe allora allo stato solido relativamente ai metalli ed al carbonio, ad una divisione del suo atomo nel passaggio dallo stato gazoso allo stato solido, per cui quest' atomo venisse ad essere formato in quest' ultimo stato d' un minor numero di atomi semplici primitivi che non allo stato gazoso. Nel secondo caso si dovrebbe ammettere, che la costituzione dell' atomo del gaz di zolfo fosse essa medesima diversa da quella degli altri gaz relativamente agli atomi primitivi indivisibili, ossia ai veri atomi termici, cosicchè relativamente allo zolfo ciò che si chiama la *teoria de' volumi gazosi* si scostasse dalla teoria degli atomi propriamente detta. Ma come ho già fatto osservare, nulla finquì annunzia la realità di simili divisioni, o riunioni d' atomi nel passaggio dei corpi semplici dallo stato gazoso allo stato solido o liquido, e reciprocamente, e non abbiamo ancora alcun esempio d' una differenza di costituzione atomica, e quindi di calore specifico a volume uguale tra un gaz semplice e l'altro. Finchè dunque ulteriori fatti non ci abbiano somministrate idee più precise sopra questi diversi punti, dobbiamo attenerci al sistema d' atomi de' corpi semplici, che ho proposto per l'applicazione della legge di Dulong e Petit, con cui solo possono rappresentarsi tutti i calori specifici conosciuti senza scostarci dall' indicato principio. Di questo sistema io farò uso

nelle ricerche di cui passo ad occuparmi delle leggi dei calori specifici de' corpi composti relativamente a quelli de' loro componenti. In ogni caso sarà poi facile tradurre l'espressione dei risultati a cui sarò condotto, in quella relativa a qualunque altro sistema che gli si dovesse sostituire.

§. II.

Considerazioni generali tendenti a stabilire la legge atomica del calore specifico de' corpi composti allo stato solido o liquido, e loro applicazione all'acqua in particolare.

Partendo dalla legge di Dulong e Petit pe' corpi semplici, cioè supponendo per questi costante il calore specifico di ciascun atomo, l' idea la più semplice, e che si presenta più naturalmente sulla legge del calore specifico de' corpi composti, è quella di supporre che ciascun atomo o porzion d'atomo che entra nella formazione d'un atomo del corpo composto, ritenga in quest'unione la stessa attitudine a prender calorico per riscaldarsi, che esso avea separatamente in ciascuno de' corpi semplici, e che per conseguenza il calorico specifico di ciascun atomo del corpo composto prendendo per unità quello costante d'un atomo semplice, sia rappresentato dal numero intiero, o frazionario, degli atomi semplici di diversa specie che entrano nella formazione d' un atomo del corpo composto. In questo caso per ottenere il numero costante medesimo che i corpi semplici ci presentano nell' applicazione della legge di Dulong e Petit, e che secondo la modificazione che sopra abbiamo fatta alla maniera di far quest'applicazione, è 0,1875, il calore specifico de' corpi composti prendendo per unità quello dell'acqua a peso uguale, dovrebbe prima moltiplicarsi pel peso dell'atomo composto prendendo per unità quello dell' ossigeno, poi dividersi pel numero d'atomi componenti di cui abbiamo parlato. A questo appun-

to si riduce essenzialmente la legge che io avea proposta come applicabile ai corpi composti nella mia Memoria sulla densità dei corpi solidi e liquidi, (Accad. di Torino T. XXX.), fondandomi sulla considerazione del solo calore specifico dell' acqua. Ma la modificazione che ho ora arrecata all'applicazione della legge di Dulong e Petit ai corpi semplici, non lascia più sussistere per l'acqua stessa l' accordo approssimato del calcolo coll' osservazione che io avea allora ottenuto per mezzo di quest' ipotesi; e in ogni caso si sarebbe dovuto verificar questa legge sopra un certo numero di composti, per confermarne la realità. Per altra parte le osservazioni del Sig. Dulong sul calore specifico de' gaz avendo ora confermata la legge particolare che io avea più anticamente stabilita secondo le sperienze di Berard e de la Roche, pel calore specifico de' gaz composti relativamente a quello de' gaz componenti, come l' ho fatto osservare nella già citata nota nel *Bulletin* di Ferussac, era naturale di esaminare, se questa legge non convenisse pur anche ai corpi composti solidi o liquidi, sebbene in quella nota io avessi manifestato di dubitarne. Questa legge differisce da quella di cui ho ora parlato in questo, che per avere il calore specifico di ciascun atomo di corpo composto, bisogna prendere la radice quadrata del numero che esprime quanti atomi, o porzioni d' atomo entrano nella sua formazione, in vece di prendere immediatamente questo numero stesso; cosicchè se questa legge è applicabile ai corpi solidi e liquidi, egli è per la radice quadrata di questo numero, e non pel numero stesso, che bisogna dividere il prodotto del calore specifico a peso uguale, prendendo per unità quello dell' acqua, pel peso dell' atomo composto per ottenere il numero costante che si ha nell' applicazione della legge di Dulong e Petit ai corpi semplici, e che secondo le nostre attuali supposizioni è 0,1875.

Ho dunque provato a rappresentare con questa legge i calori specifici osservati dei corpi solidi, e ho trovato, come già ho annunziato che questa legge già indicata dalle osser-

vazioni pei corpi gazosi, pareva anche applicabile ai corpi solidi, ma con modificazioni relative alla natura di questi corpi. Si concepisce infatti che vi è per essi, nell' applicazione della legge di cui si tratta, una sorgente d' arbitrario, e d'indecisione che non ha luogo pei corpi gazosi. In questi la costituzione dell' atomo composto è conosciuta dalle densità stesse dei gaz composti e componenti, e dal numero di volumi dei gaz componenti che concorrono a formare un volume del gaz composto. Questa cognizione compiuta della costituzione dell' atomo per mezzo di osservazioni dirette ci manca relativamente ai corpi solidi, anche quando si suppongono perfettamente determinati i pesi degli atomi dei componenti, e i numeri relativi di atomi nella formazione del composto; gli atomi composti, che risulterebbero immediatamente dalla riunione d' un numero intiero d' atomi dei corpi semplici, possono, come si vede nei composti gazosi, subire divisioni, o riunioni tra loro di cui lo stato solido ci nasconde intieramente la natura ed il numero. Bisogna dunque fare a questo riguardo supposizioni suggerite dai calori specifici stessi a cui si vuol soddisfare, e perchè la legge che si vuol provare sia ammissibile, conviene almeno che le supposizioni che essa trae seco presentino, per la loro analogia con ciò che ha luogo ne' corpi gazosi, e per la loro conformità ne' corpi di composizione analoga un certo grado di probabilità. Si vedrà dai particolari in cui entrerò percorrendo i diversi corpi composti d'ordine sucessivamente più elevato, sino a qual punto questa legge, che l'osservazione ha indicata pei corpi gazosi, soddisfaccia anche al calore specifico dei corpi composti solidi e liquidi, avuto riguardo alle due indicate condizioni e qual grado di probabilità ne risulti in favore di questa legge.

In questa ricerca io indicherò, per abbreviare, col nome di *numero costitutivo* dell'atomo di corpo composto in uno stato qualunque il numero che rappresenta quanti atomi o frazioni di atomo dei corpi semplici componenti entrano, o si suppongono entrare nella formazione di questo atomo, numero di cui

si dee prendere la radice quadrata nell'applicazione della legge di cui quì si tratta.

Ma tra i diversi corpi composti io debbo in primo luogo occuparmi a questo riguardo più particolarmente dell'acqua, la quale per la cognizione che abbiamo della densità del suo vapore, e per conseguenza della costituzione del suo atomo allo stato di gaz può offrirci alcuni dati di più sul rapporto tra gli atomi allo stato solido o liquido, e gli atomi gazosi relativamente al calore specifico.

Ho già ricordato che in una Memoria precedente io avea cercato di render ragione del calore specifico dell'acqua, supponendo che nei corpi composti il calore specifico dell'atomo espresso dallo stesso numero costante che pei corpi semplici, dovesse ottenersi dividendo semplicemente il prodotto del calore specifico della sostanza e del peso dell'atomo, per ciò che ho ora proposto di chiamare il *numero costitutivo* di quest'atomo; e che per conseguenza il calore specifico della sostanza dovesse essere rappresentato dal suddetto numero costante moltiplicato pel numero costitutivo e diviso pel peso dell' atomo. Siccome io ammetteva allora con Dulong e Petit pel numero costante della legge relativa ai corpi semplici 0,375 ossia $\frac{3}{8}$, io avea trovato che supponendo l' atomo dell' acqua liquida lo stesso che quello del vapor acqueo, il calor specifico calcolato diveniva precisamente uguale a quello dell' acqua liquida, il quale si prende per unità. Infatti un volume di vapor acqueo essendo formato d'un volume di gaz idrogeno e d'un mezzo volume d'ossigeno, ossia il suo atomo gazoso d' un atomo d' idrogeno e d'un mezz' atomo d' ossigeno, il suo numero costitutivo è $1 + \frac{1}{2}$ ossia 1,5, e il peso di quest' atomo, prendendo per unità quello dell' ossigeno, molto prossimamente

$$\frac{1}{16} + \frac{1}{2} \text{ ossia } \frac{9}{16} \text{ ; ora } \frac{\frac{3}{8} \cdot 1\frac{1}{2}}{\frac{9}{16}} = \frac{\frac{9}{16}}{\frac{9}{16}} = 1.$$

Ma ciò non avrebbe più luogo, come già ho accennato, in seguito alla riduzione alla metà che abbiamo creduto dover adottare pel numero costante della legge; non si avrebbe più così che $\frac{1}{2}$ pel calore specifico calcolato dell' acqua, e niuna supposizione di divisione o di riunione d'atomi gazosi nella formazione d' un atomo dell' acqua liquida potrebbe ristabilire l'accordo, ritenendo la stessa legge, poichè se si raddoppiasse per esempio il numero costitutivo, si raddoppierebbe pure necessariamente il peso dell'atomo e il risultato rimarrebbe lo stesso.

Passiamo dunque a provare come si possa applicare al calore specifico dell' acqua la legge che riguardiamo ora come la più probabile, e secondo la quale dee sostituirsi al semplice numero costitutivo la sua radice quadrata.

Supponendo ancora l' atomo dell' acqua liquida quale esso è nel vapor acqueo, si ha come abbiamo veduto 1,5 pel suo numero costitutivo; la radice quadrata ne è 1,225, e il prodotto di questa per 0,1875 che prendiamo pel numero costante è 0,2297: dividendo pel peso dell'atomo $\frac{9}{16}$ ossia 0,5625 si trova 0,4084. Questo numero non è, come si vede, nemmeno la metà dell' unità, che esprime il calore specifico dell' acqua liquida; ora quantunque sia probabile che il calore specifico del ghiaccio, ossia dell' acqua allo stato solido (che è quello che la nostra formola pare dover darci più precisamente, poichè il numero costante ne è stato calcolato per mezzo dell' osservazione dei calori specifici de' corpi semplici solidi) debba esser minore di quello dell'acqua liquida, e ciò sia infatti conforme alle sperienze di diversi Fisici, non è credibile che la differenza ne sia sì notabile, e niuno ha trovato il calore specifico del ghiaccio sì poco considerevole; e le mie sperienze hanno dato per questo calore specifico, come si è veduto circa 0,9, come l' avevano indicato Kirwan e Dalton. Per ottenere dunque coll' applicazione della nostra legge un calore specifico dell' acqua o del ghiaccio che sia conciliabile colle osservazioni, bisogna ammettere qualche cangiamento nell' atomo gazoso dell' acqua al suo passaggio allo

stato solido o liquido. Se si suppone una divisione di quest'atomo in quattro, il numero 0,4084 sarà raddoppiato; poichè per una parte il numero costitutivo di cui la radice quadrata entra come fattore nell' espressione precedente si ridurrà alla quarta parte, e la sua radice resterà divisa per $\sqrt{4}$ ossia per 2; ma per altra parte il peso dell' atomo che è divisore nella stessa espressione diverrà quattro volte minore, cosicchè l'espressione sarà moltiplicata per $\frac{4}{2}$ ossia per 2. Il calore specifico calcolato diverrà così 0,8168, numero a un dipresso intermedio trà 0,9 che Kirwan e Dalton hanno indicato, e che le mie sperienze mi hanno pur dato pel calore specifico del ghiaccio prendendo per unità quello dell'acqua, e 0,720 che Clement e Desormes gli hanno attribuito. Questo numero pare affatto ammissibile, stante l' incertezza di questi risultati; le mie sperienze in particolare non potendosi riguardare, per le circostanze meno favorevoli in cui furono fatte, se non come approssimative. Altronde la legge stessa, come già più volte ho detto di quella di Dulong e Petit pe' corpi semplici, non dee riguardarsi come matematicamente esatta nella sua applicazione.

Se non si fosse supposta che una divisione dell' atomo gazoso in due , non si sarebbe ottenuto pel calore specifico calcolato, che $0,4084.\sqrt{2} = 0,4084. 1,414 = 0,5775$, poichè il numeratore avrebbe dovuto dividersi per $\sqrt{2}$, e il denominatore per 2, il che equivale ad una moltiplicazione dell'espressione per $\frac{2}{\sqrt{2}}$ ossia per $\sqrt{2}$; ora questo numero 0,5775 non sarebbe ancora che un pò più della metà del calore specifico 1 dell' acqua, e non potrebbe ancora riguardarsi come il valore approssimato di quello del ghiaccio

L' applicazione della nostra legge ci conduce dunque ad ammettere che l'atomo dell'acqua liquida e del ghiaccio non è che il quarto dell' atomo dell' acqua gazosa ossia del vapor acqueo, cioè non è formato che di $\frac{1}{4}$ d' atomo d' idrogeno, e $\frac{1}{8}$ d' atomo d' ossigeno; cosicchè se questo atomo passasse allo

stato di gaz senz' alterazione, un volume di vapor acqueo conterrebbe soltanto $\frac{1}{4}$ di volume d'idrogeno e $\frac{1}{8}$ di volume d'ossigeno; o in altri termini un volume di gaz ossigeno unendosi a due volumi d' idrogeno formerebbe 8 volumi di vapor acqueo in vece di due soli volumi che ne forma realmente.

Secondo il nostro risultato il calore specifico dell' acqua solida ossia del ghiaccio non sarebbe che circa $\frac{4}{5}$ di quello dell' acqua liquida, senza che si possa supporre alcun cangiamento d' atomo tra questi due stati; questa differenza sarebbe dovuta alla sola diversità d' aggregazione da quella della dilatabilità che ne risulta ecc. Non se ne dee però conchiudere che un simile rapporto abbia prossimamente luogo trà lo stato solido ed il liquido per tutti i corpi. Nel mercurio per esempio il calore specifico calcolato per lo stato solido pare molto più prossimo a quello che gli si è osservato allo stato liquido. Infatti il calore specifico del mercurio solido calcolato secondo la nostra formola per le sostanze semplici, prendendo pel suo atomo 6,33, metà di quello attualmente ammesso da Berzelius, dee essere $\frac{0,1875}{6,33} = 0,0296$. Lavoisier e La-Place hanno trovato il calore specifico del mercurio liquido 0,029 che sarebbe ancora un poco inferiore a questa quantità; ma probabilmente il loro risultato pecca alquanto per difetto. Clement e Desormes hanno trovato 0,031, che sarebbe a 0,0296 a un dipresso come 20 a 19, cioè il calore specifico calcolato del mercurio solido sarebbe $\frac{19}{20}$ di quello del mercurio liquido secondo quest' osservazione, in vece di esserne solamente $\frac{4}{5}$.

Abbiamo veduto che il calore specifico dell' ossigeno allo stato di gaz sotto volume costante, secondo le sperienze di Berard e De la Roche sul calore specifico dell' aria paragonato a quello dell' acqua, sarebbe a un dipresso lo stesso che quello che secondo la nostra formola avrebbe luogo nell' ossigeno allo stato solido. Quest' ugualianza approsimata di calore specifico dovrebbe pure verificarsi per tutti gli altri

gaz semplici, che si supponessero ridotti allo stato solido, senza riunione, nè divisione d' atomi, poichè il calore specifico dell' atomo è, nelle nostre supposizioni, costante pei corpi semplici tanto allo stato di gaz quanto allo stato solido, e il numero d' atomi contenuto in un dato peso è in ragion inversa del peso dell' atomo nell' uno come nell' altro di questi due stati. Questa stessa uguaglianza approssimata dee aver luogo, secondo le nostre formole, anche pei corpi composti allo stato gazoso e allo stato solido, nel caso che si suppongano ritenere in questi due stati la stessa costituzione d'atomo; poichè la legge del calore specifico de' corpi composti relativamente a quello de' corpi semplici è supposta la stessa pe' corpi solidi come pe' corpi gazosi. Questo può verificarsi direttamente sul vapor acqueo paragonato coll' acqua. Il calore specifico del vapor acqueo a volume costante prendendo per unità quello dell' aria, e per conseguenza anche dell' ossigeno a volume uguale, secondo la legge che ho confermata per mezzo delle sperienze di Dulong nella Nota più volte citata è $\sqrt{1,5} = 1,225$. Siccome dunque la densità del vapor acqueo è 0,5625, prendendo per unità quella del gaz ossigeno, il suo calore specifico a peso uguale sarà $\frac{1,225}{0,5625} = 2,1778$ prendendo quello del gaz ossigeno per unità. Poichè dunque abbiamo veduto che il calore specifico dell' ossigeno gazoso, secondo le sperienze di Berard e De la Roche sarebbe 0,1723 prendendo per unità quello dell'acqua a peso uguale, quello del vapor acqueo nella stessa unità sarà $2,178.0,1723 = 0,3753$ un poco inferiore a 0,4084 che abbiamo trovato pel calore specifico dell' acqua calcolato nella supposizione che il suo atomo si conservasse quale esso è allo stato gazoso: nella stessa maniera che il calore specifico dell' ossigeno stesso 0,1723 secondo le sperienze di Berard e De la Roche si è trovato alquanto minore di 0,1875, valore del calore specifico dell'ossigeno solido nelle nostre supposizioni. E se si ammettesse che il calore specifico dell' ossigeno gazoso prendendo per unità

quello dell'acqua fosse 0,1875, come abbiamo creduto che esso dovea esserlo almeno, se non superiore, rigettandone la differenza sull'errore possibile delle sperienze di Berard e De la Roche, si avrebbe per quello del vapor acqueo 0,1875.2,178 = 0,4084, precisamente come l'abbiamo calcolato per l'acqua liquida nell'indicata ipotesi; onde si potrebbe supporre che il calore specifico del vapor acqueo a volume costante prendendo per unità quello dell'acqua, è anch'esso alquanto superiore a 0,4084; e il calore specifico dello stesso vapore sotto pressione costante sarebbe poi ancora superiore a quello di tutta la quantità assorbita per la dilatazione che allora vi si considera, e che determina il rapporto dei due calori specifici a volume costante e a pressione costante.

Il calore specifico del doppio più grande che abbiamo attribuito all'acqua supposta solida, cioè 0,8168, e da cui dipende anche quello dell'acqua liquida = 1, non ha dunque luogo, se non perchè abbiamo ammessa nell'acqua in questi due stati, relativamente allo stato gazoso una divisione dell'atomo in quattro, e quindi questa superiorità del calore specifico dell'acqua solida e liquida sopra quello del vapore a peso uguale non dee più sorprenderci; quest'ultimo sarebbe anch'esso uguale od anche superiore a 0,8168, prendendo il vapore sotto volume costante, se si supponesse che l'atomo dell'acqua si conservasse allo stato gazoso quale lo supponiamo allo stato solido e liquido. Il calore specifico sotto pression costante sarebbe quindi ancora maggiore; cioè siccome il calore specifico del vapor acqueo a volume costante con questa ipotetica costituzione, prendendo per unità quello dell'aria o del gaz ossigeno di ugual volume, sarebbe $\frac{1,225}{2} = 0,6125$, il suo calore specifico a pression costante, prendendo sempre per unità quello d'un ugual volume d'aria sotto volume costante, sarebbe 0,6125 + 0,421 = 1,0335, poichè la quantità di calorico che forma la differenza dei due calori specifici, secondo le sperienze di Dulong è costante e rappresentata da 0,421.

Così questo calore specifico del vapor acqueo a pressione costante sarebbe 1,0335 nella stessa unità in cui quello a volume costante è 0,6125. Se dunque si supponesse che il calore specifico a volume costante del vapor acqueo in questo stato fosse 0,8168 prendendo per unità quello d'un ugual peso d'acqua, quello a pressione costante sarebbe dato dalla proporzione 0,6125: 1,0335 : : 0,8168: x=1,378: quest'ultimo calore specifico dovrebbe dunque probabilmente essere alquanto superiore a questo valore 1,378. Così i calori specifici a peso uguale dell'acqua allo stato solido, allo stato liquido, e allo stato di gaz sottoposto a pressione costante, in questa supposta identità di atomo sarebbero rappresentati rispettivamente dai numeri 0,8168; 1; e un poco più di 1,378, conformemente alla progressione che è naturale di ammettere trà questi tre stati; mentre al contrario nella costituzione reale dell'atomo del vapor acqueo il suo calore specifico a pressione costante non dee esser che alquanto superiore a 0,5487, prendendo per unità quello d'un peso acqua uguale d', numero che con un calcolo simile al precedente si trova corrispondere al calore specifico del vapore sotto volume costante, 0,4084.

§ III.

Applicazione delle considerazioni precedenti al calore specifico dato dalle esperienze pei diversi corpi composti.

Seguirò in quest'applicazione lo stesso ordine in cui ho disposto i diversi composti nel §. V. della prima parte in cui ho riferiti i risultati delle mie sperienze, vi aggiungerò però alcune poche sostanze, pel calore specifico delle quali mi servirò delle determinazioni che altri Fisici ne han date, non avendo io stesso su quelle sperimentato.

Osserverò quì avanti di occuparmi di ciascun composto

particolare, che in seguito alla riduzione che abbiamo addottata degli atomi dei metalli in generale alla metà di quelli che ammette attualmente il Sig. Berzelius, i loro gradi d'ossigenazione debbono essere tutti abbassati, riducendo alla metà il numero d'atomi d'ossigeno che Berzelius vi suppone per ciascun atomo di metallo: così gli ossidi a un atomo d'ossigeno non saranno più che a un mezz'atomo, quelli a 1 $\frac{1}{2}$ atomi, ossia di 3 atomi d'ossigeno per 2 di metallo diverranno ossidi a $\frac{3}{4}$ d'atomo d'ossigeno per uno di metallo, ossia 3 atomi d'ossigeno per 4 di metallo, e così successivamente, lo stesso si dica dei gradi dei cloruri. Per la stessa ragione il numero d'atomi d'acido per un atomo di base deve ridursi alla metà nei carbonati, nitrati ecc. Quanto ai solfuri ed ai solfati ciò non è loro applicabile, perchè abbiamo ridotto a metà l'atomo dello zolfo come quelli dei metalli, cosicchè il rapporto tra il numero d'atomi resta lo stesso che quello ammesso da Berzelius. Del resto nell'estimazione dei pesi degli atomi, e nei risultati che ne deduco mi limito a tre o quattro decimali.

Ossidi metallici.

a. Ossidi metallici contenenti secondo Berzelius 1 atomo, e secondo il nostro sistema un mezz'atomo d'ossigeno per uno di metallo. *Il numero costitutivo* dell'atomo di questi ossidi, quando non vi si suppone alcuna divisione nè riunione relativamente all'atomo del metallo, è $1 + \frac{1}{2}$ ossia 1,5 di cui la radice quadrata è 1,225, e il suo prodotto per 0,1875 è 0,2297.

Ossido giallo di piombo. Il peso dell'atomo di quest'ossido, prendendo per unità quello dell'ossigeno, e supponendo primieramente che esso non subisca alcuna divisione relativamente all'atomo del metallo, dee essere $6,4725 + 0,5 = 6,9725$, cioè 6,4725 per l'atomo di piombo, e 0,5 pel mezz'atomo d'ossigeno. Se la legge che abbiamo proposta pel calore specifico de' corpi solidi si applica a quest'atomo, si

avrà pel calore specifico calcolato $\frac{0,2297}{0,9725} = 0,0329$. Questo numero è notabilmente minore del calore specifico di questa sostanza dato dalle osservazioni. Ma se si ammette che l'atomo dell' ossido che abbiamo supposto si divida in due atomi, cosicchè l' atomo reale non sia più formato che di $\frac{1}{2}$ atomo di piombo e $\frac{1}{4}$ d' atomo d' ossigeno, il numero costitutivo 1,5 si ridurrà alla metà, ed il numeratore della frazione che esprime il calore specifico dovrà dividersi per $\sqrt{2}$ ossia per 1,414, mentre per altra parte il peso dell' atomo riducendosi a metà, il denominatore resterà diviso per 2. Ciò viene a dire che il numero precedente dovrà moltiplicarsi per $\frac{2}{\sqrt{2}}$ ossia $\sqrt{2}$. Il calore specifico calcolato diverrà dunque $0,0329.1,414=0,0465$. Le mie sperienze, e quelle di Gadolin hanno dato pel calore specifico di quest' ossido 0,050, ovvero 0,049 che è alquanto più; ma la differenza non è tale che non possa attribuirsi in parte agli errori delle sperienze stesse, e in parte alle piccole deviazioni provenienti dalla natura particolare di ciascuna sostanza, e in ragion delle quali io non riguardo, come ho già detto, le leggi di cui quì si tratta, se non come approssimative. Ma perchè questo risultato non possa essere considerato come puramente arbitrario, e la divisione ammessa dell'atomo scelta soltanto per verificare l' osservazione , bisognerà che gli ossidi di composizione analoga a questo offrano pure una divisione analoga d' atomo per soddisfare alla legge, e questo si vedrà dall'esame degli ossidi seguenti.

Ossido rosso di mercurio. Il peso dell'atomo del mercurio essendo secondo noi 6,33, quello dell'atomo d'ossido rosso, supponendo che l'atomo del metallo vi resti intiero sarà $6,33+0,5=6,83$. Si dovrebbe dunque avere pel calore specifico calcolato secondo la nostra legge $\frac{0,2297}{6,83} = 0,0336$, troppo inferiore a quello osservato. Ma se si suppone la divisione di quest'atomo in due come per l' ossido precedente, questo numero re-

sterà moltiplicato per 1,414, e si avrà così 0,0475. Le mie sperienze e quelle di Lavoisier e La Place s'accordano nel dare a quest' ossido molto prossimamente 0,050 pel calore specifico; questo è ancora, come per l' ossido di piombo, un poco più del calore specifico calcolato, ma con una differenza abbastanza piccola perchè la legge possa considerarsi come verificata, e ciò con una costituzione d' atomo analoga a quella che abbiamo dovuto ammettere per l' ossido di piombo.

Protossido di stagno, ossia, *ossido stannoso* di Berzelius. Il peso dell' atomo dello stagno, metà di quello ammesso da Berzelius è 3,675, e per conseguenza quello dell' atomo di quest' ossido, non supponendovi alcuna divisione 4,175; in quest' ipotesi il calore specifico dovrebbe essere $\frac{0,2297}{3.675}$=0,055 molto minore di quello che l'osservazione ci ha dato. Ma se si suppone la divisione dell'atomo in due, si avrà 0,055.$\sqrt{2}$ =0,078. L' esperienza mi ha dato un numero ancora notabilmente maggiore, cioè 0,094; ma come ho già detto, ho qualche ragione di sospettare, che l' ossido da me adoperato fosse misto d' alquanto deutossido, che come dotato di maggior calore specifico avrebbe prodotto un errore in più. Altronde non si potrebbe supporre un' ulterior divisione dell' atomo in due, senza moltiplicare ancora il numero 0,078 per $\sqrt{2}$, il che darebbe un numero notabilmente superiore a quello dell' osservazione, cioè 0,110, quasi uguale a quello che ho osservato nel deutossido. Mi pare dunque probabile, che il divario un po' grande, che si ha quì tra l' osservazione ed il calcolo, è dovuto a qualche errore particolare dell'osservazione, e in questo caso il calore specifico del protossido di stagno soddisfà anch'esso alla nostra legge con una costituzione d'atomo analoga a quella che abbiamo ammessa per gli ossidi precedenti.

Deutossido di rame, ossia *ossido cuprico*. L'atomo del rame è secondo il nostro sistema 1,9785, e quindi quello dell' ossido di cui si tratta 2,4785 quando non vi si supponga alcuna divisione; in tal caso il calore specifico dovrebbe es-

sere $\frac{0,2297}{2,478} = 0,0927$; ma supponendo una divisione dell'atomo in 2 si avrà $0,0927.\sqrt{2} = 0,130$. L'esperienza mi ha dato 0,146, numero un pò maggiore; ma si vede che la costituzione d'atomo che soddisfà più da vicino all'osservazione è sempre la stessa che negli ossidi precedenti.

Ossidi di zinco. L'atomo dello zinco è secondo noi 2,016, e quello del suo ossido 2,516 non ammettendovi alcuna divisione; ora $\frac{0,2297}{2,516} = 0,0913$. Moltiplicando per $\sqrt{2}$, cioè supponendo la divisione dell'atomo in due, sempre secondo la stessa analogia, si ha 0,1291. Io ho trovato 0,141 pel calore specifico dell'ossido di zinco, e Crawford 0,137, numeri solo alquanto superiori a quello calcolato.

Calce. Non essendo conosciuto per esperienza il calore specifico del calcio metallico, non si ha prova diretta che l'atomo del calcio quale lo suppone Berzelius, soddisfaccia alla legge di Dulong e Petit sotto la forma in cui questa legge fu finquì applicata, o che la metà di quest'atomo soddisfaccia alla stessa legge col numero costante che vi abbiamo sostituito, e che la composizione atomica della calce sia quindi analoga a quella degli ossidi precedenti. Ma siccome è noto che la calce è isomorfa cogli ossidi a un sol atomo d'ossigeno di Berzelius, ovvero a un mezz'atomo nel nostro sistema, non pare potersi dubitare che la calce appartenga a questa classe di ossidi. Ciò posto l'atomo del calcio sarebbe secondo noi 1,28 metà di 2,56 che è l'atomo di Berzelius, e l'atomo della calce, non ammettendovi divisione, sarebbe $1,28+0,5 = 1,78$. In quest'ipotesi si avrebbe pel calore specifico della calce, secondo la nostra legge $\frac{0,2297}{1,78} = 0,129$. Ma supposta una divisione dell'atomo in 2 come per gli ossidi precedenti, questo numero diverrà $0,129.\sqrt{2} = 0,182$. Ho trovato pel calore specifico della calce viva coll'esperienza 0,179 numero poco diverso; l'analogia degli ossidi a $\frac{1}{2}$ atomo d'ossigeno, riguar-

do alla costituzione dell' atomo si verifica dunque anche per la calce.

La nostra legge è dunque applicabile al calore specifico di tutti gli ossidi di questa classe che abbiamo esaminati, per quanto gli errori delle osservazioni stesse pajono permetterlo, e per quanto la natura d' una legge approssimativa lo richiede, ammettendo, che in tutti questi ossidi l'atomo del metallo unito ad un mezz'atomo d'ossigeno si divida in due, onde l'atomo composto sia formato di un mezz'atomo di metallo e di $\frac{1}{4}$ d'atomo d'ossigeno. Se questa costituzione d'atomo avesse luogo in questi composti allo stato di gaz, un volume di gaz metallico combinandosi con un mezzo volume di gaz ossigeno, produrrebbe due volumi di vapore o gaz composto; secondo il caso il più ordinario delle combinazioni gazose esso non dovrebbe produrre che un solo volume cioè il doppio del volume del gaz ossigeno, che è quì la sostanza che entra per un minor volume nel composto; se supponiamo che questo fosse pure il caso dei nostri ossidi allo stato gazoso, vi sarebbe poi divisione di quest' atomo gazoso in due nel passare allo stato solido, nella stessa maniera che abbiamo veduto doversi ammettere, secondo il nostro sistema, una divisione d' atomo in 4 nel passaggio del vapor acqueo allo stato liquido o solido.

b. Ossidi metallici contenenti secondo Berzelius $1\frac{1}{2}$ atomo d' ossigeno per uno di metallo, ossia 3 atomi d' ossigeno per due di metallo, e secondo il nostro sistema $\frac{3}{4}$ d' atomo d' ossigeno per uno di metallo, ossia 3 atomi d' ossigeno per 4 di metallo. Il numero costitutivo dell' atomo in questi ossidi non supponendo alcuna divisione dell' atomo metallico, è $1 + \frac{3}{4}$, ossia 1,75 di cui la radice è 1,323, e il suo prodotto per 0,1875 è 0,2481.

Ossido rosso di ferro. L' atomo del ferro dee essere secondo noi 1,696, e per conseguenza quello dell'ossido di cui si tratta, se l' atomo del metallo non vi soffre divisione, sarà $1{,}696 + 0{,}75 = 2{,}446$. Si dovrebbe dunque avere il calore

specifico calcolato secondo la nostra legge $\frac{0,2481}{2,446} = 0,1014$.

Questo non è che circa la metà del calore specifico osservato; bisognerà dunque supporre una divisione dell'atomo in 4, pel che si viene a dividere il numeratore per $\sqrt{4}$, ossia per 2, e il denominatore per 4, e così a moltiplicare il numero precedente per 2, si ottiene così 0,2028 pel calore specifico calcolato; l'osservazione ha dato, come si è veduto 0,213, numero di poco superiore. Così quest'ossido soddisfà alla nostra legge, purchè si supponga che l'atomo che risulterebbe immediatamente dall'unione d'un atomo di ferro con $\frac{3}{4}$ d'atomo d'ossigeno si divida in 4 almeno allo stato solido, cosicchè l'atomo non sia più formato che di $\frac{1}{4}$ d'atomo di ferro, e $\frac{3}{16}$ d'atomo d'ossigeno. Ma vediamo se gli altri ossidi di composizione analoga ci presenteranno la stessa analogia nella costituzione del loro atomo.

Minio ossia deutossido di piombo. L'atomo del piombo essendo come sopra 6,4725, se vi si aggiunge 0,75 per l'ossigeno, si avrà per l'atomo dell'ossido senza divisione 7,2225, e quindi pel calore specifico calcolato $\frac{0,2481}{7,2225} = 0,03434$. Raddoppiando questo numero, il che suppone come sopra una divisione dell'atomo in 4, si ottiene 0,0687, numero poco diverso da 0,0724 che ho trovato pel calore specifico di quest'ossido corretto dall'effetto della mescolanza di protossido di piombo. Crawford e Kirwan hanno indicato 0,068 secondo le loro sperienze, il che s'accorderebbe ancora più da vicino col valor calcolato, se avessero realmente operato sopra deutossido puro. Si ha dunque per quest'ossido, nell'applicazione della nostra legge, la stessa costituzione d'atomo che abbiamo trovato nell'ossido rosso di ferro suo analogo per la composizione.

Ossido d'arsenico, ossia acido arsenioso. L'atomo dell'arsenico metallico quale Berzelius lo ammette attualmente, e

che è già, come per gli altri metalli, la metà di quello che egli gli attribuiva più anticamente, è fondato sulla supposizione che nell'acido arsenioso un atomo d'arsenico prenda 1 $\frac{1}{2}$ atomi e nell'acido arsenico 2 $\frac{1}{2}$ atomi d'ossigeno. Ma l'analogia porta a credere che si debba ancora ridurre quest' atomo alla metà come quelli dei metalli precedenti. E infatti Gadolin assegna all' arsenico senza dubbio metallico (poichè Dulong e Petit non hanno compreso questo metallo nelle loro sperienze, ed io non me ne sono nè anche occupato nelle mie come di niun altro metallo) il calore specifico 0,084 (1); ora se si addotta per l'atomo dell'arsenico 2,35, metà di quello ammesso attualmente da Berzelius, si ha $\frac{0,1875}{2,35} = 0,0798$ ossia prossimamente 0,080, che si scosta poco dal risultato di Gadolin. Ammettendo dunque quest'atomo 2,35 per l'arsenico metallico, e la composizione dell'acido arsenioso che ne è la conseguenza, cioè $\frac{3}{4}$ d' atomo d'ossigeno per un atomo di metallo, il che lo rende analogo nella composizione ai due ossidi precedenti, si avrà per l'atomo composto, se non vi si suppone divisione, $2,35 + 0,75 = 3,10$, e pel calore specifico calcolato $\frac{0,2481}{3,10} = 0,080$ in vece di 0,141 che ho trovato per esperienza. Ma se si suppone ora una divisione di quest' atomo in 4, si avrà il doppio di 0,080, e così 0,160 pel calore specifico calcolato; questo numero è alquanto maggiore di quello osservato; ma la differenza pare ancora potersi rigettare sopra gli errori dell' osservazione, e sul diffetto di rigore della legge stessa; e quest' ipotesi di divisione, analoga a quella degli ossidi precedenti, si trova così anche quì indicata dall' osservazione.

---

(1) Berzelius nel suo *Trattato di Chimica* dice che il calore specifico trovato all' arsenico da Dulong e Petit non s' accorda colla loro legge; ma non veggo che si faccia menzione di questo metallo nella loro memoria pubblicata negli *Annales de Chimie et de Physique*, Avril 1819.

Osserverò quì che la riduzione dell'arsenico alla metà dell'atomo attualmente ammesso da Berzelius ci obbliga a farne altrettanto pel fosforo, perchè i composti analoghi di questi due corpi sono isomorfi; così l'acido fosforico non sarà formato che da $\frac{5}{4}$ ossia $1\frac{1}{4}$ atomi d'ossigeno in vece di $\frac{5}{2}$ ossia $2\frac{1}{2}$ per ciascun atomo di fosforo, e non sarà per conseguenza analogo agli acidi nitrico, clorico ecc.. almeno quando si voglia ritenere l'identità di rapporto degli atomi termici de' corpi semplici con quelli che essi avrebbero allo stato di gaz.

Alumina. Berzelius ammette attualmente in questa sostanza come negli ossidi precedenti $1\frac{1}{2}$ atomo d'ossigeno per un atomo di metallo, e l'isomorfismo de' suoi composti con quelli dell'ossido rosso di ferro pare non lasciare alcun dubbio, che la sua composizione sia analoga a quella di quest'ossido; essa dee dunque essere composta secondo il sistema che abbiamo adottato di $\frac{3}{4}$ d'atomo d'ossigeno per una d'aluminio, e l'atomo d'aluminio si ridurrà alla metà di quello ammesso da Berzelius, cioè sarà 0,856; l'atomo dell'alumina sarà quindi $0{,}856+0{,}75=1{,}606$, quando vi si supponga l'atomo d'aluminio indiviso. Il calore specifico dell'alumina in quest'ipotesi dovrebbe essere $\frac{0,2481}{1,606}=0{,}1545$. Questo risultato sarebbe notabilmente inferiore a quello delle mie sperienze 0,200: ma sarebbe molto maggiore il divario in più che si avrebbe raddoppiandolo, cioè supponendo una divisione dell'atomo in 4. Se si ammette una divisione in 2 soltanto, il numero 0,1545 dovrà moltiplicarsi per $\sqrt{2}$, e diverrà così 0,218, di poco superiore a quello osservato. L'analogia nella costituzione dell'atomo, se pure la mia esperienza non è affetta da qualche grave errore, mancherebbe dunque quì relativamente a quella degli ossidi precedenti della stessa composizione, e l'atomo dell'alumina sarebbe formato di $\frac{1}{2}$ atomo di metallo, e $\frac{3}{8}$ d'atomo d'ossigeno, in vece di esserlo come i precedenti di $\frac{1}{4}$ d'atomo di metallo, e $\frac{3}{16}$ d'atomo d'ossigeno. Non credo

però che quest'eccezione all'analogia, la prima che incontriamo nei diversi ossidi che già abbiamo percorsi, possa considerarsi come una forte obbiezione contro la nostra legge (1).

Farò quì osservare che secondo la costituzione d'atomo a cui siamo stati condotti pei tre primi ossidi di questa classe che abbiamo considerati, se questi composti si trovassero allo stato di gaz collo stesso atomo, il volume del gaz risultante sarebbe quadruplo di quello del vapore del metallo; cioè un volume di vapor del metallo combinandosi con $\frac{3}{4}$ di volume di gaz ossigeno formerebbe 4 volumi di gaz composto: o in altri termini 16 volumi di questo gaz composto conterrebbero 4 volumi di vapor del metallo, e 3 volumi di gaz ossigeno: a ciascuno di questi volumi parziali d'ossigeno, che è quì il corpo che entra in minor volume, corrisponderebbero così 16 volumi di gaz composto. Nella formazione dell'alumina a ciascuno di questi volumi d'ossigeno corrisponderebbero solo 8 volumi di gaz composto. Ma probabilmente questa costituzione non avrebbe realmente luogo nei composti allo stato gazoso, e non è che il risultato di una divisione dell'atomo conveniente allo stato gazoso, in più atomi, nel passaggio allo stato solido, come ciò succede relativamente all'acqua.

c. Ossidi metallici contenenti secondo Berzelius 2 atomi d'ossigeno, e secondo noi un solo atomo per un atomo di metallo. In questi ossidi il numero costitutivo, non supponendovi divisione è $1+1=2$, di cui la radice quadrata è 1,414, e il prodotto di questa per 0,1875. è 0,2651.

Deutossido di stagno, ossia ossido stannico. Il peso dell'a-

---

(1) Potrebbe pure obbjettarsi che se l'atomo dell'alumina offre una divisione di meno che l'ossido di ferro, essa non può più essere isomorfa a questo, come lo dà l'osservazione: ma può rispondersi che questa differenza non ha luogo tra i due composti, se non allo stato anidro, e che l'alumina può riprendere l'analogia dell'ossido di ferro ne' suoi composti, nei quali solo l'isomorfismo è stato osservato. Avrò occasione di ritornar sopra questo soggetto parlando degli idrati dell'alumina e dell'ossido di ferro.

tomo dello stagno essendo come sopra 3,675 quello dell'atomo di quest'ossido sarà 4,675 se non vi è divisione. In tal caso il calore specifico dovrebbe essere $\frac{0,2651}{4,675}$ =0,0567. Questo non è che circa la metà di quello che ha dato l'osservazione. Raddoppiando questo numero, il che suppone una divisione dell'atomo in 4, si ottiene 0,1134 pel calore specifico calcolato, poco diverso da quello osservato 0,111. L'atomo di quest'ossido allo stato solido sarebbe dunque formato di $\frac{1}{4}$ d'atomo di stagno e $\frac{1}{4}$ d'atomo d'ossigeno. L'ossido in cui ho osservato il calore specifico 0,111 è quello preparato coll'acido nitrico: l'altra modificazione di quest'ossido, sotto cui esso si presenta quando si ottiene precipitandolo dal cloruro di stagno, avrebbe probabilmente un calore specifico alquanto diverso; ma è da credersi, che questa differenza sarebbe dell'ordine di quelle che possono aver luogo nell'applicazione della nostra legge, come semplicemente approssimativa, alle diverse sostanze, e non dipenderebbe da un grado di divisione diverso nella costituzione dell'atomo.

Perossido di manganese. L'atomo del manganese metallico essendo, secondo noi 1,730, metà di quello attualmente ammesso da Berzelius, quello del perossido, non supponendovi divisione sarà 2,730; si dovrebbe dunque avere pel suo calore specifico $\frac{0,2651}{2,73}$ =0,0971; questo non è che circa la metà di quello osservato. Bisogna dunque ammettere in quest'ossido, come in quello dello stagno, suo analogo per la composizione, una divisione dell'atomo in 4, il che raddoppia il numero 0,0971, e dà pel calore specifico calcolato 0,194, pochissimo diverso dal calore specifico osservato 0,191.

Osserverò quì che se la costituzione d'atomo che abbiamo trovata comune a questi due ossidi, avesse pur luogo allo stato di gaz, un volume di vapor metallico combinandosi con un volume di gaz ossigeno produrrebbe 4 volumi di gaz composto. Ma se si suppone che allo stato gazoso questo volume

non dovesse essere che doppio di quello di ciascuno dei gaz componenti, secondo ciò che si osserva ordinariamente nei composti di questo genere che possono ottenersi allo stato gazoso, vi sarebbe poi divisione di quest'atomo gazoso in due nella formazione dsll' atomo solido.

d. Silicia, ossia acido silicico. Il Sig. Berzelius suppone ancora attualmente tre atomi d'ossigeno per uno di Silicio nella Silicia. Se si volesse seguire l'analogia dei metalli precedenti relativamente agli atomi ammessi da Berzelius, noi dovremmo supporre $1\frac{1}{2}$ atomo d'ossigeno per 1 di Silicio, e ridurre quindi l'atomo di Silicio alla metà di quello di Berzelius. Ma il calore specifico del Silicio ci è affatto ignoto, e non abbiamo alcuna analogia per cui possiamo determinare la composizione della Silicia relativamente a quella degli altri ossidi. Per altra parte ho esposto altrove ragioni chimiche di credere che il numero degli atomi d'ossigeno nella Silicia non può essere un multiplo per 3 (Memorie dell'Accademia di Torino T.° 26.) e il Sig. Dumas, per mezzo delle sue ricerche sulla densità di alcuni gaz composti in cui entra il Silicio, ha poi reso probabile che la Silicia non contiene che un atomo d'ossigeno per uno di Silicio, e Berzelius non ha creduto dover ritenere la sua antica ipotesi, se non per la semplicità maggiore che ne risulta nella composizione de' silicati, il che non pare un motivo sufficiente. Supporrò dunque la Silicia composta di un atomo d'ossigeno e d'uno di silicio; l'atomo del silicio sarà per conseguenza il terzo di 2,775 ammesso da Berzelius, cioè 0,925, e quello della silicia, non supponendovi divisione, sarà 1,925. La silicia sarà così analoga per la sua composizione ai due ossidi precedenti, e il suo numero costitutivo 2 come per questi ossidi. Quindi il calore specifico calcolato dovrebbe essere $\frac{0,2651}{1,925} = 0,1377$. Questo numero è notabilmente minore di quello osservato: ma se ammettiamo una divisione del supposto atomo in 2 soltanto, questo numero dovrà moltiplicarsi per $\sqrt{2}$, e diverrà così 0,195. Questo sa-

rebbe precisamente il calore specifico osservato da Crawford nell' agata: io ho trovato solo 0,179 pel quarzo; ma la differenza è dell' ordine di quelle che gli errori delle sperienze, e la natura semplicemente approssimativa della legge permettono di ammettere nella sua applicazione. Così la Silicia, sebbene analoga pel suo grado d' ossidazione, secondo la nostra supposizione ai due ossidi precedenti, offrirebbe una divisione di meno di questi nella costituzione dell'atomo allo stato solido, cioè quest' atomo sarebbe formato di $\frac{1}{2}$ atomo di silicio, e $\frac{1}{2}$ atomo d' ossigeno, in vece di $\frac{1}{4}$ soltanto di atomo dei due componenti, la Silicia presenterebbe a questo riguardo un' eccezione all' analogia degli ossidi corrispondenti dei metalli, simile a quella che l' alumina ci ha già presentata relativamente agli ossidi metallici di composizione analoga alla sua. Si osserverà del resto che l' atomo della Silicia a cui siamo stati condotti sarebbe analogo a quello che ha luogo ordinariamente nelle combinazioni dello stesso genere, che si possono ottenere allo stato gazoso.

Solfuri.

Solfuro di ferro ordinario. Berzelius vi suppone 2 atomi di zolfo per 1 di metallo, e noi dobbiamo far lo stesso secondo il nostro sistema, poichè abbiamo ridotto a metà tanto l'atomo dello zolfo, come quello del ferro. Così il numero costitutivo dell' atomo di questo composto, non supponendovi divisione, sarà 3 di cui la radice quadrata è 1,732, e il suo prodotto per 0,1875 è 0,3247. Il peso dell' atomo di questo solfuro sarà 3,7075 metà di quello che avrebbe secondo Berzelius; e il suo calore specifico dovrebbe essere $\frac{0,3247}{3,7075}$=0,0875, notabilmente minore di quello dato dall' osservazione. Ma se si moltiplica questo numero per $\sqrt{2}$, col che si viene a supporre una divisione di quell' atomo in 2, si ottiene 0,125. Ho trovato per esperienza 0,135 numero alquanto maggiore; ma

se si ammettesse una divisione di più, si avrebbe 0,175 che si scosterebbe ancora più dall'osservazione. Dobbiamo dunque arrestarci alla divisione in 2, per cui l'atomo solido del solfuro viene ad esser formato di $\frac{1}{2}$ atomo di metallo e 1 atomo di zolfo; cosicchè se questa costituzione si conservasse allo stato di gaz, un volume di vapor di ferro combinandosi con 2 volumi di vapor di zolfo produrrebbe 2 volumi di gaz composto, conformemente a ciò che accade ordinariamente nelle combinazioni gazose. Non ho determinato per esperienza il calore specifico di alcun altro solfuro analogo a questo pel grado di solfurazioue ne' di alcun ossido di composizione analoga, per cui possiamo così paragonare la costituzione dell'atomo con quella del medesimo.

Solfuro di piombo, o galena. Questo solfuro dee esser composto secondo noi, come secondo Berzelius di 1 atomo di zolfo per un atomo di metallo; il numero costitutivo del suo atomo, non supponendovi divisione, è dunque 2, di cui la radice quadrata è 1,414; e il peso dell'atomo 7,475 metà di quello che Berzelius gli attribuisce. Il calore specifico calcolato secondo la nostra legge sarebbe quindi $\frac{0,2651}{7,475} = 0,0355$, numero inferiore a quello dato dall'esperienza. Se supponiamo una divisione dell'atomo in 2, dovremo moltiplicare questo uumero per $\sqrt{2}$ ossia per 1,414, e avremo così 0,0502, numero poco diverso da 0,046 che l'osservazione mi ha dato. La costituzione dell'atomo a cui l'applicazione della legge ci conduce è dunque $\frac{1}{2}$ atomo di metallo e $\frac{1}{2}$ atomo di zolfo.

Solfuro di mercurio, o cinabro. La sua composizione atomica, secondo Berzelius, è la stessa che quella del solfuro di piombo, e vi si debbono applicare le stesse considerazioni. Il suo atomo, non supponendovi divisione, sarà 7,335 metà di quello che ha secondo Berzelius, e il suo calore specifico dovrebbe essere $\frac{0,265}{7,335} = 0,0361$, numero troppo piccolo: moltiplicandolo per $\sqrt{2}$, cioè ammettendo una divisione dell'atomo

in 2, si ottiene 0,051, numero di poco superiore a 0,048 che l' esperienza ci ha dato pel calore specifico di questo solfuro. L' applicazione della legge dà dunque pel medesimo una costituzione atomica simile a quella del suo analogo in composizione.

Questa costituzione, che s' accorda con quella ordinaria dei composti gazosi è pur quella che abbiamo osservata nella Silicia, a cui abbiamo attribuita una composizione analoga in radicale ed ossigeno, mentre, come abbiamo veduto, gli altri ossidi metallici corrispondenti offrono una divisione di più dell' atomo in 2.

Solfuro d' arsenico giallo, ossia orpimento. Berzelius considera attualmente questo solfuro come formato da 1 $\frac{1}{2}$ atomo di zolfo per 1 d' arsenico; noi dobbiamo ammettere la stessa supposizione, ma ridurre il peso del suo atomo, nella supposizione che l' atomo del metallo vi resti intiero, alla metà di quello che sarebbe secondo Berzelius, cioè a 3,860. Il numero costitutivo di quest' atomo è 2,5, di cui la radice quadrata è 1,581, e il suo prodotto per 0,1875 è 0,2963. Si avrebbe dunque pel calore specifico $\frac{0,2963}{3,86} = 0,0768$. Moltiplicando questo numero per $\sqrt{2}$, cioè supponendo la divisione dell' atomo in 2, si ottiene 0,1086, numero poco diverso da 0,105 che è il calore specifico che ho trovato all' orpimento coll' esperienza. Così in questo solo esempio che abbiamo tra i corpi di cui ho esaminato il calor specifico, d' un corpo composto di 1 atomo di metallo con 1 $\frac{1}{2}$ atomo d' un' altra sostanza si avrebbe divisione dell'atomo del metallo in 2, onde l'atomo composto sarebbe formato di un mezz' atomo di metallo, e di $\frac{3}{4}$ d' atomo della sostanza con esso combinata.

Cloruri.

a. Cloruri che secondo Berzelius contengono 2 atomi di Cloro, e nel nostro sistema 1 atomo di cloro per uno di me-

tallo. Il numero costitutivo dell' atomo, senza divisione, è 2 di cui la radice è 1,414, e il suo prodotto per 0,1875, è 0,2651.

Cloruro di sodio o sal comune. La supposizione di Berzelius di 2 atomi di cloro per uno di sodio in questo composto corrisponde, secondo la composizione in peso del medesimo, e della soda, ed il rapporto degli atomi gazosi del cloro, e dell'ossigeno, a quella di 1 atomo d' ossigeno per 1 atomo di metallo nella soda, di cui diviene così la composizione analoga a quella della calce. Nel nostro sistema, seguendo la stessa analogia, dobbiamo ammettere un atomo soltanto di cloro nel cloruro di sodio, e $\frac{1}{2}$ atomo d' ossigeno nella soda per un atomo di sodio. Ciò posto il peso dell' atomo del sodio è 1,4545, metà di quello che gli è attribuito da Berzelius, e quello del cloruro non supponendo alcuna divisione, 1,4545 +2,213=3,6675. Il numero costitutivo essendo 2, si avrà pel calore specifico calcolato $\frac{0,2651}{3,6675} = 0,0723$, molto minore del calore specifico osservato. Se si raddoppia questo numero, cioè si suppone la divisione dell' atomo in 4, si ottiene 0,1446, che è ancora molto lontano dall' osservazione; ma se si moltiplica ancora questo numero per $\sqrt{2}$ ossia 1,414, si ha pel calore specifico calcolato 0,204, di poco inferiore al calore specifico osservato 0,221. Quest' ultima moltiplicazione per $\sqrt{2}$ rinchiude la supposizione d' una ulteriore divisione in 2 dell' atomo già diviso in 4, e così in tutto in 8 parti. Vi sarebbe dunque quì una divisione in 2 di più di quello che abbiamo trovato per gli ossidi di metalli ordinarii, che contengono secondo noi un solo atomo d' ossigeno per un atomo di metallo, e l' atomo del cloruro sarebbe formato di $\frac{1}{8}$ d' atomo di sodio, e $\frac{1}{8}$ d' atomo di cloro.

Cloruro di calcio. La supposizione di un atomo di cloro per un atomo di calcio in questo cloruro è necessariamente connessa con quella di $\frac{1}{2}$ atomo d' ossigeno per uno di calcio nella calce. L' atomo del cloruro di calcio sarà conseguentemente, quando non vi si ammetta divisione, 1,28 + 2,213

$=3,493$, e il calore specifico calcolato $\frac{0,2651}{3,493}=0,0760$, numero molto lontano da quello osservato 0,194.

Raddoppiando questo numero, cioè supponendo una divisione dell'atomo in 4, non si ha ancora che 0,152; moltiplicando poi questo numero per $\sqrt{2}$, il che viene a supporre un'ulteriore divisione in 2, si ottiene 0,215, numero alquanto superiore a quello osservato, ma non a tal segno, che non si possa ammettere questo risultato, particolarmente se si considera, che il numero 0,194 non è stato dato che dalla media di due sperienze alquanto discordi tra loro, e di cui l'una avrebbe dato 0,205. Così l'applicazione della nostra legge a questo cloruro ci conduce ad una divisione dell'atomo in 8 come pel cloruro di sodio, che abbiamo calcolato come suo analogo in composizione.

Deutocloruro di mercurio, ossia sublimato corrosivo. Anche questo cloruro contiene secondo Berzelius 2 atomi, e secondo noi un solo atomo di cloro per uno di metallo. Il suo atomo, non supponendovi divisione, dee essere $6,329+2,213=8,542$, e il suo calore specifico calcolato $\frac{0,2651}{8,542}=0,03104$. Il calore specifico osservato è 0,069 che ne è a un dipresso doppio; conviene dunque supporre una divisione dell'atomo in 4, che dà pel calore specifico $0,03104.2=0,0621$, numero poco inferiore a 0,069. Questo cloruro si scosterebbe dunque dall'analogia dei due cloruri precedenti di sodio e di calcio, di composizione analoga, in ciò che il suo atomo non presenterebbe che una divisione in 4, in vece di quella in 8, e rientrerebbe così nell'analogia degli atomi degli ossidi metallici composti d'un atomo d'ossigeno per uno di metallo, come il deutossido di stagno, ed il perossido di manganese. Forse quest'analogia è comune a tutti i cloruri analoghi dei metalli ordinarii, mentre quelli dei metalli alcaligeni come il sodio e il calcio della stessa composizione, presentano la divisione in 8.

b. Protocloruro di mercurio. Questo cloruro non contie-

ne che la metà del cloro contenuto nel deutocloruro, relativamente al mercurio, e così nel nostro sistema un mezz'atomo d' ossigeno per un atomo di mercurio. Se non si suppone alcuna divisione dell' atomo metallico, il peso dell'atomo composto sarà 6,329+1,107=7,436, e il suo numero costitutivo 1,5, di cui la radice è 1,225; il suo calore specifico calcolato sarebbe quindi $\frac{0,1875.\ 1,225}{7,436} = \frac{0,2297}{7,436} = 0,0309$. Questo numero è minore del calore specifico osservato; ma se si moltiplica per $\sqrt{2}$, esso diviene 0,0437: l' esperienza mi ha dato 0,041 che ne differisce assai poco. Vi è dunque una divisione in due nell'atomo di questo cloruro metallico, come negli ossidi dei metalli ordinarii di composizione simile, cioè che contengono $\frac{1}{2}$ atomo d' ossigeno per uno di metallo; mentre per altra parte abbiamo veduto che il deutocloruro di mercurio, e gli ossidi di composizione simili ad esso seguono in comune l' analogia della divisione dell' atomo in 4.

c. Cloruro di potassio. Secondo Berzelius la composizione di questa sostanza è analoga a quella che egli suppone al cloruro di sodio, cioè 2 atomi di cloro per 1 di metallo, nella stessa maniera che egli suppone la composizione della potassa analoga a quella che egli attribuisce alla soda, cioè un atomo d' ossigeno per uno di metallo. Nel nostro sistema il numero degli atomi del cloro per uno di metallo nel cloruro dovrebbe ridursi, secondo la stessa analogia ad 1, e quello degli atomi d' ossigeno nella potassa per conseguenza ad $\frac{1}{2}$. Ma ho esposte altrove (Memorie dell'Accademia di Torino T. 26.) alcune ragioni di credere che nella potassa non vi è che la metà del numero d'atomi d'ossigeno che vi è nella soda, relativamente ad un atomo metallico, e lo stesso rapporto dee allora aver luogo tra i due cloruri. Così il cloruro di potassio non conterrebbe che $\frac{1}{2}$ atomo di cloro per uno di potassio, e la potassa $\frac{1}{4}$ d' atomo d' ossigeno per uno di potassio. Ciò posto l' atomo del potassio sarà la quarta parte di quello attualmente ammesso da Berzelius, cioè sarà 1,225; aggiungendovi

il peso del mezz'atomo di cloro, cioè 1,106 si avrà 2,331 per l'atomo del cloruro di potassio, quando non vi si suppone alcuna divisione. Per altra parte la composizione atomica del cloruro di potassio sarà analoga a quella del protocloruro di mercurio, e il numero costitutivo dell'atomo sarà $1\frac{1}{2}$, di cui la radice quadrata è 1,225. Quindi il calore specifico di questa sostanza sarebbe $\frac{0,2297}{2,332} = 0,0985$, inferiore a quello osservato. Ma se si raddoppia questo numero, cioè se si suppone una divisione dell'atomo in 4, si ottiene 0,189: l'osservazione ha dato 0,184, numero poco diverso. Così l'atomo di cloruro di potassio sarebbe formato di $\frac{1}{4}$ d'atomo di potassio, e $\frac{1}{8}$ d'atomo di cloro, cioè vi sarebbe nel suo atomo la stessa frazion d'atomo di cloro che nell'atomo del cloruro di sodio, nel che consisterebbe l'analogia di questi due cloruri, ma la frazion d'atomo di potassio vi sarebbe doppia di quella dell'atomo di sodio, come lo richiede la composizione atomica diversa che loro abbiamo attribuita. Per altra parte l'atomo del cloruro di potassio presenterebbe una divisione in 2 di più che gli atomi degli ossidi della medesima costituzione atomica, cioè di 1 di metallo e $\frac{1}{2}$ d'ossigeno, nella stessa maniera che ciò ha luogo nel cloruro di sodio relativamente agli ossidi di composizione atomica analoga alla sua, cioè di un atomo d'ossigeno per un atomo di metallo. Finalmente se si paragona l'atomo del cloruro di potassio a quello del protocloruro di mercurio, vi sarebbe nel primo una divisione in due di più che nel secondo, sebbene la composizione atomica ne sia simile, nella stessa maniera che ciò si è osservato succedere nei cloruri di sodio e di calcio relativamente al deutocloruro di mercurio loro analogo in composizione, cosicchè questa differenza tra i metalli alcaligeni e i metalli ordinarii si estende ai gradi diversi della loro clorurazione.

Ossidi idrati.

a. Idrati di ossidi che secondo Berzelius contengono 1 $\frac{1}{2}$ atomi d'ossigeno, e che abbiamo ridotti a $\frac{3}{4}$ d' atomo d' ossigeno per uno di metallo.

Ossido rosso di ferro idrato. In quest' idrato l' ossigeno dell' acqua essendo la metà dell' ossigeno dell' ossido, un atomo intiero di ferro vi conterrà $\frac{3}{4}$ d' atomo d' ossigeno dell'ossido, $\frac{3}{8}$ d' atomo d' ossigeno dell' acqua, e $\frac{3}{4}$ d' atomo d' idrogeno della medesima, e sommando questi numeri si avrà pel numero costitutivo dell'atomo dell'idrato $2+\frac{7}{8}=2.875$, di cui la radice è 1,696, e il suo prodotto per 0,1875 è 0,3182. Per altra parte il peso dell'atomo del ferro essendo secondo noi 1,696, quello dell' atomo dell' idrato si troverà di 1,696 + 1,125 +0,047=2,868. Si avrà dunque pel calore specifico di quest' atomo $\frac{0,3182}{2,868}=0,1109$. Se si raddoppia questo numero, il che suppone la divisione dell' atomo in 4 si ha 0,222. L'osservazione non mi ha dato che 0,188: ma la differenza può attribuirsi in gran parte all' inesattezza di questo risultato dell'esperienza, che è stata fatta sopra un idrato, della purezza del quale io avea luogo di dubitare. Così l'atomo dell'ossido rosso di ferro entrando in combinazione coll'acqua resterebbe quale l' abbiamo trovato allo stato anidro senza ulteriore divisione. Quest' atomo dell' ossido anidro si combinerebbe con $\frac{3}{16}$ d' atomo d' acqua, quale quest' atomo si trova nel vapor acqueo, ossia con $\frac{3}{4}$ d' atomo d' acqua, quale il calore specifico di questa ce lo ha indicato allo stato liquido o solido; l' atomo dell' ossido idrato sarebbe così composto di $\frac{1}{4}$ d' atomo di ferro, $\frac{3}{16}$ d' atomo d'ossigeno dell' ossido, $\frac{3}{32}$ d' ossigeno dell' acqua, e $\frac{3}{16}$ d' idrogeno dell' acqua.

Alumina idrata. In quest' idrato l' ossigeno dell' acqua è uguale all' ossigeno dell' alumina. Se si suppone primieramente che il suo atomo non soffra alcuna divisione relativamente a quello dell'aluminio, esso sarà formato di 1 atomo d'aluminio, $\frac{3}{4}$ d' atomo d' ossigeno dell' alumina, $\frac{3}{4}$ d' atomo d' ossigeno dell' acqua, e 1 $\frac{1}{2}$ atomo d'idrogeno dell'acqua. Ciò fa in tutto pel numero costitutivo 4 atomi di cui la radice è 2. L'atomo dell'aluminio essendo nel nostro sistema 0,856, quello dell' atomo dell' idrato sarà 0,856+1,50+0,094=2,450, onde si avrà pel calore specifico calcolato $\frac{0,1875.2}{2,45}=\frac{0,375}{2,45}=0,153$. Raddoppiando questo numero, cioè supponendo la divisione dell' atomo in 4, non si ha ancora che 0,306, notabilmente minore del calore specifico osservato. Ma se si moltiplica ancora questo numero per $\sqrt{2}$, cioè si suppone un' ulterior divisione dell' atomo in 2, e così in tutto in 8, si trova 0,433 poco diverso dal calore specifico osservato 0,421. L' atomo dell' alumina idrata sarebbe dunque formato di $\frac{1}{8}$ d'atomo d'aluminio, $\frac{3}{32}$ d' atomo d' ossigeno dell' alumina, $\frac{3}{32}$ d'atomo d'ossigeno dell' acqua, e $\frac{3}{16}$ d' atomo d' idrogeno dell' acqua. Così, a meno che si sia introdotto qualche error particolare in questa parte delle mie sperienze, mentre l' atomo dell'alumina anidra subisce una divisione di meno relativamente all' atomo del metallo, che l' atomo dell' ossido rosso di ferro suo analogo in composizione, quello dell' alumina idrata subisce una divisione in 2, di più che quello dell' idrato d' ossido di ferro. Ma bisogna notare che l' alumina ha un grado d' idratazione doppio di quella dell' ossido di ferro; è possibile che se l' alumina avesse un grado d' idratazione uguale a quello dell' ossido di ferro, l' atomo di quest'idrato sarebbe costituito come quello dell' ossido, e che solo prendendo una nuova quantità d' acqua uguale alla prima, per passare al suo grado attuale d' idratazione, l' atomo subirebbe la nuova divisio-

ne in 2. Così gli idrati di grado corrispondente dell' alumina e dell' ossido di ferro sarebbero probabilmente isomorfi, e così appunto può spiegarsi l' isomorfismo degli altri composti analoghi di queste due sostanze, come già abbiamo accennato all' articolo dell' alumina anidra.

b. Idrati d' ossidi che secondo Berzelius contengono un atomo, e secondo noi un mezz' atomo d'ossigeno per un atomo di metallo. In questi idrati l' ossigeno dell'acqua è uguale a quello dell' ossido; onde il loro numero costitutivo è $1+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+1=3$, di cui la radice è 1,732, e il prodotto di questa per 0,1875 è 0,3247.

Calce idrata. Il peso dell'atomo che abbiamo attribuito al calcio essendo 1,280, l' atomo di questo idrato sarà 1,28 + 1 + 0,062 = 2,342; quindi il calore specifico calcolato su quest' atomo senza divisione, sarà $\frac{0,3247}{2,342} = 0,1386$. Raddoppiando questo numero, cioè supponendo una divisione in 4, si ottiene 0,279. L' osservazione ha dato in fatti per questo calore specifico circa 0,3, e l' esperienza sulla calce idrata del commercio soltanto 0,289, il che presenta un sufficiente accordo. Abbiamo veduto che nella calce anidra, come negli altri ossidi d' analoga composizione non vi era che una divisione dell' atomo in 2 relativamente al calcio; vi sarebbe dunque quì una divisione di più che si opererebbe nell'atto dell' idratazione. L'atomo della calce idrata sarebbe così formato di $\frac{1}{4}$ d' atomo di calcio, $\frac{1}{8}$ d'atomo d' ossigeno della calce, $\frac{1}{8}$ d' atomo d' ossigeno dell' acqua, e $\frac{1}{4}$ d' atomo d' idrogeno ossia di $\frac{1}{4}$ d' atomo di calcio allo stato di calce, e $\frac{1}{4}$ d' atomo d' acqua quale si trova nel vapor acqueo, ossia 1 atomo d' acqua quale si trova nello stato solido o liquido.

Soda idrata. L'atomo del sodio essendo secondo noi 1,4545, quello della soda idrata sarà 1,4545+1+0,0625 = 2,517 non ammettendovi divisione, e in tal caso il calore specifico secondo la nostra legge dovrebbe essere $\frac{0,3247}{2,517} = 0,129$. L' osserva-

zione ci ha dato circa 0,8 che è più di 6 volte maggiore, cosicchè si dovrebbe supporre un gran numero di divisioni successive in 2 prive d' ogni probabilità per soddisfare a quest' osservazione. Vi è dunque ogni apparenza che oltre l' errore che è potuto derivare da un po' d' acqua straniera all'idratazione che la sostanza avea forse assorbita dall' aria, la circostanza di cui ho parlato nel riferire questo risultato, cioè quella del rammollimento dell' idrato dal calore forse dovuto in parte a quest' acqua straniera medesima, ha reso il numero osservato non comparabile colle indicazioni relative ai calori specifici delle altre sostanze. Se come è probabile, l'idrato di soda presentasse una divisione dell'atomo in 4, come l' idrato di calce suo analogo, il numero 0,129 dovrebbe solo essere raddoppiato, onde il calore specifico sarebbe 0,258; il sovrappiù del calore osservato sarebbe dovuto all'acqua straniera, e allo svolgimento di calor latente nel passaggio da quel principio di fusione alla solidità.

c. Potassa idrata. L'ossigeno dell'acqua è anche in quest' idrato uguale a quello dell' ossido, cosicchè secondo Berzelius esso avrebbe una composizione affatto analoga a quella della calce idrata e della soda idrata; e secondo l' analogia generale che quì seguiamo, non si tratterebbe che di ridurre l' atomo del potassio, ed il numero d' atomi d'ossigeno e d' acqua combinata alla metà; ma siccome, secondo quello che abbiamo detto parlando del cloruro di potassio, la potassa non contiene probabilmente che la metà della quantità atomica d' ossigeno contenuta nella calce, nella soda ecc., dobbiamo quì ridurre il tutto al quarto di quello che Berzelius suppone. Così l'atomo del potassio essendo secondo noi 1,225, quello della potassa, senza divisione, sarà $1,225+0,25 = 1,475$, e per l' idratazione bisognerà aggiungervi $0,25+0,0312$, cosicchè l' atomo totale diverrà 1,756. Quanto al numero costitutivo esso sarà $1+\frac{1}{4}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2}=2$, di cui la radice è 1,414, e il suo prodotto per 0,1875 è 0,2651. Quindi il calore specifico calcolato di quest' idrato sarebbe $\frac{0,2651}{1,756} = 0,151$. Se si rad-

doppia questo numero, cioè si suppone una divisione dell'atomo in 4, si ottiene 0,302, il che è ancora inferiore all'osservazione che ha dato 0,358: ma è probabile che la differenza provenga in parte ad un po' d'acqua che l'idrato di potassa avrà attratto dall'atmosfera, sia nel vaso in cui si conservava, sia nel suo trasporto nell'apparecchio, e che ha dovuto aumentare il calore specifico osservato. Ciò posto l'atomo dell'idrato di potassa sarebbe formato di $\frac{1}{4}$ d'atomo di potassio, $\frac{1}{16}$ d'atomo d'ossigeno della potassa, $\frac{1}{16}$ d'atomo d'ossigeno dell'acqua, e $\frac{1}{8}$ d'atomo d'idrogeno; cosicchè l'atomo dell'idrato di potassa conserverebbe la stessa relazione a quello dell'idrato di calce, che la composizione della potassa a quella della calce.

d. Acido solforico idrato, ossia olio di vitriolo concentrato. Sebbene non abbia fatto io stesso alcuna sperienza sul calore specifico di questa sostanza, essendomi principalmente occupato in questa memoria dei corpi solidi, credo dover dire alcuna cosa della costituzione dell'atomo di questa sostanza, che si può conchiudere secondo la legge che abbiamo finquì applicata, dal calor specifico che diversi fisici vi hanno trovato.

Secondo Berzelius l'acido solforico il più concentrato del commercio, di cui il peso specifico è circa 1,85, è formato di 1 atomo d'acido solforico anidro, ed 1 d'acqua, cioè, secondo le sue supposizioni, di 1 atomo di zolfo, 3 d'ossigeno dell'acido, 1 d'ossigeno dell'acqua, e 2 d'idrogeno. Nel sistema d'atomi che noi abbiamo adottato l'atomo di zolfo di Berzelius dee esser preso per 2 atomi, cosicchè si avranno 2 atomi di zolfo, 3 ossigeno dell'acido, 1 ossigeno dell'acqua e 2 idrogeno, ovvero 2 di zolfo, e 4 d'ossigeno, 2 d'idrogeno, o più semplicemente 1 di zolfo, 2 d'ossigeno, 1 d'idrogeno, onde si avrà 4 pel numero costitutivo dell'atomo supponendovi un atomo intiero di zolfo, e 2 per la sua radice quadrata. Il peso di quest'atomo è a un dipresso $1 + 2 + \frac{1}{16}$

$=3,0625$. Si avrà dunque pel calore specifico calcolato $\frac{0,1875.2}{3,0625}$ $= \frac{0,375}{3,0625} = 0,1224$. Ora Lavoisier e Laplace hanno trovato pel calore specifico dell' acido solforico concentrato 0,3346; Clement e Desormes 0,340, Dalton 0,35. Questi numeri si accordano da vicino tra loro. Crawford indica 0,429; ma il suo risultato è probabilmente affetto da qualche errore. Se si suppone una divisione dell' atomo sovra indicato in 8 parti, converrà moltiplicare il numero 0,1224 per $\sqrt{8}$ ossia per $2\sqrt{2}$ $=2.1,414$, e si troverà così che esso diviene 0,346, numero poco diverso da quelli citati. È vero che l' acido solforico idrato essendo liquido, il suo calore specifico dovrebbe essere un po' maggiore di quello indicato dalla formola, che è stata dedotta dalle sperienze sui corpi solidi, mentre il risultato di Dalton è solo, e di assai poco superiore a 0,346; ma senza parlare delle inesattezze delle osservazioni, e di quelle che ammette l' applicazione della nostra legge, si è veduto che anche pel mercurio la differenza del risultato calcolato, e del risultato osservato sul mercurio liquido è poco considerevole, e si perde negli errori delle sperienze.

Se si adotta l' indicato risultato, l' atomo dell' acido solforico idrato sarà formato di $\frac{1}{8}$ d' atomo di zolfo, $\frac{3}{16}$ d' atomo d' ossigeno dell' acido, $\frac{1}{16}$ d' ossigeno dell' acqua e $\frac{1}{8}$ d' atomo d' idrogeno: cioè l' ottavo d' atomo di zolfo allo stato d'acido solforico sarà unito per la sua idratazione ad $\frac{1}{8}$ d'atomo d'acqua quale esso si trova nel vapor acqueo, ossia a $\frac{1}{2}$ atomo d' acqua quale si trova nell' acqua liquida. Pare probabile che l' acido solforico anidro non presenterebbe la divisione dell'atomo dello zolfo che in 2, od in 4, e che la divisione ulteriore non avrebbe luogo se non nell' atto dell' idratazione.

a. Carbonati o sotto-carbonati, in cui l'ossigeno dell'acido è doppio di quello della base.

Sotto-carbonato di calce. L'atomo del calcio è secondo le nostre ipotesi 1,280, e quello della calce 1,780. Per avere il peso dell'atomo del sale di cui si tratta, senza ammettere divisione, bisogna aggiungervi il peso di $\frac{1}{2}$ atomo di carbonio 0,382, e 1 per l'ossigeno dell'acido; si ha così 3,162. Il numero costitutivo è $1+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+1=3$, di cui la radice è 1,732, e il suo prodotto per 0,1875, è 0,3247. Si avrà dunque pel calore specifico calcolato $\frac{0,3247}{3'162} = 0,1027$. Raddoppiando questo numero, cioè supponendo una divisione dell'atomo in 4 si ottiene 0,2054. L'osservazione ha dato come si è veduto 0,203, risultato quasi identico, e che altronde s'accorda prossimamente con quelli indicati da altri Fisici. Così il sotto carbonato di calce avrebbe il suo atomo formato di $\frac{1}{4}$ d'atomo di calcio allo stato di calce, e di $\frac{1}{8}$ d'atomo di carbonio allo stato d'acido carbonico. L'atomo della calce anidra, quale sopra l'abbiamo stabilito, subirebbe nella sua carbonatazione una divisione in 2 come nell'idratazione.

Sotto-carbonato di soda. Questo sale ha una composizione analoga a quella del sale precedente. L'atomo del sodio essendo secondo noi 1,4545, e quello della soda 1,9545, bisognerà aggiungervi come pel sotto-carbonato di calce 1,382 per l'acido carbonico, il che dà 3,336 pel peso dell'atomo indiviso, il calore specifico sarebbe quindi $\frac{0,3247}{3,336} = 0,0972$. Raddoppiando questo numero non si avrebbe ancora che 0,1944, mentre l'osservazione mi ha dato 0,281 pel calore specifico di questo sale allo stato anidro; ma se si moltiplica ancora per $\sqrt{2}$, cosicchè si supponga in tutto una divisione dell'atomo in 8, si avrà 0,275, numero poco diverso da quel-

lo dell' osservazione. L' atomo del sotto carbonato di soda subirebbe dunque una divisione in 2 di più che quello del sotto-carbonato di calce suo analogo in composizione, e si avrebbe quì un' eccezione alle nostre analogie, se pure la mia sperienza non è affetta a questo riguardo di qualche errore particolare.

Sotto-carbonato di potassa. Questo sale secondo Berzelius ha una composizione analoga a quella dei sotto-carbonati di calce e di soda ; ma secondo l' ipotesi che abbiamo fatta relativamente alla potassa, dobbiamo ridurre al quarto coll'atomo di potassio, il numero degli atomi d' ossigeno e di acido che esso prende secondo Berzelius. Così l'atomo della potassa secondo noi essendo 1,475 bisogna unirvi per l' acido carbonico il peso d'un quarto d' atomo di carbonico 0,191, e quello d' un mezz' atomo d'ossigeno 0,5, e si avrà così 2,166 per l' atomo di questo sale, ritenendo quello di potassio indiviso. Il numero costitutivo ne sarà $1+\frac{1}{4}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2}=2$, di cui la radice è 1,414, e si avrà pel calore specifico calcolato $\frac{0,2651}{2,166} = 0,122$. Raddoppiando questo numero si ottiene 0,244. L'esperienza mi ha dato 0,237 che poco ne differisce; anche quì vi sarà dunque divisione dell' atomo in 4 come nella potassa idrata.

b. Solfati. L' ossigeno dell' acido vi è triplo di quello della base.

Solfato di calce. Un atomo di calcio è unito in questo sale secondo le nostre supposizioni ad $\frac{1}{2}$ atomo d' ossigeno della calce, 1 $\frac{1}{2}$ atomo d' ossigeno dell' acido, e 1 atomo di zolfo: il suo numero costitutivo sarà dunque $1+\frac{1}{2}+1\frac{1}{2}+1=4$, di cui la radice quadrata è 2. Il peso dell' atomo si otterrà aggiungendo all' atomo della calce 1,780 a un dipresso 1 per l' atomo di zolfo, e 1 $\frac{1}{2}$ per l' atomo e mezzo d' ossigeno, e se non vi fosse divisione di quest' atomo, il suo peso sarebbe 4,285, e il calore specifico calcolato $\frac{0,375}{4,285} = 0,0876$. Rad-

doppiando questo numero, cioè supponendo una divisione dell' atomo in 4 si ha 0,175. L' osservazione ha dato 0,190 numero un po' maggiore; ma la divisione in 4 è anche quì indicata come nel sotto-carbonato della stessa base. Così l'atomo del solfato di calce anidro sarebbe formato di $\frac{1}{4}$ d' atomo di calcio allo stato di calce, e $\frac{1}{4}$ d' atomo di zolfo allo stato d' acido solforico.

Solfato di soda. Questo sale ha una composizione analoga a quella del sale precedente. Così l' atomo della soda essendo secondo noi 1,9545, bisognerà aggiungervi 2,5 pel peso dell' acido, il che dà 4,4545, e quando non si supponga divisione di quest'atomo, si avrà $\frac{0,375}{4,454} = 0,0843$ pel calore specifico. Raddoppiando questo numero non si ottiene che 0,169, mentre l' esperienza mi ha dato 0,263; bisognerà dunque ammettere un ulteriore divisione in 2 dell' atomo già diviso in 4; il calore specifico calcolato diverrà infatti $0,169.\sqrt{2} = 0,238$ poco diverso da 0,263. Vi sarebbe dunque anche quì una divisione in 8 invece di quella in 4 che ha luogo nel solfato di calce, disparità analoga a quella che abbiamo trovato tra i due carbonati delle stesse basi.

Protosolfato di ferro. Questo solfato è anche analogo ai precedenti per la composizione. Secondo il peso dell' atomo di ferro e dell' atomo di zolfo nelle nostre ipotesi, il peso del suo atomo, senza divisione, sarebbe 4,70, e il calore specifico calcolato $\frac{0,375}{4,7} = 0,0798$. Raddoppiando questo numero si ha 0,160. Non ho trovato che 0,145; ma la differenza è dovuta probabilmente in parte agli errori delle sperienze, e la divisione in 4 è così indicata per l' atomo di questo sale come per quello del solfato di calce.

Solfato di rame. La composizione è la stessa che pei sali precedenti, e il suo atomo secondo le nostre supposizioni si trova 4,984 quando non si ammette divisione; quindi il calore specifico sarebbe $\frac{0,375}{4,984} = 0,0834$. Raddoppiando questo

numero si ottiene 0,167, di poco inferiore a 0,180 che si è trovato per osservazione. La costituzione dell' atomo segue dunque l'analogia della divisione in 4, come nel sale precedente.

Solfato di zinco. Anche questo sale è analogo ai precedenti per la composizione; il peso del suo atomo calcolato su quello de' suoi componenti, senza divisione, si trova 5,022, e quindi il suo calore specifico $\frac{0,375}{5,022} = 0,0747$. Raddoppiando questo numero non si avrebbe ancora che 0,149, in vece che l' osservazione ha dato 0,213; ma se si moltiplica ancora per $\sqrt{2}$ si ottiene 0,212 quasi identico col risultato dell' osservazione. Se dunque quest' osservazione non è affetta da qualche error particolare, si dee quì ammettere una divisione dell' atomo in 8, che esce dall' analogia dei sali di simile composizione precedenti, ove non vi era che una divisione in 4.

Solfato di potassa. Secondo Berzelius la composizione di questo sale è anch' essa analoga a quella dei sali precedenti; ma secondo le nostre ipotesi dobbiamo ridurre i numeri atomici d' ossigeno e d' acido che in quelli ammettiamo, alla metà. L' atomo della potassa essendo secondo noi 1,475, bisognerà aggiungervi 1,25 in vece di 2,5 pel peso dell' acido, onde il peso dell' atomo, senza divisione, sarà 2,725. Il numero costitutivo sarà quì $1 + \frac{1}{4} + \frac{3}{4} + \frac{1}{2} = 2\frac{1}{2}$, di cui la radice quadrata è 1,581, e il prodotto di questa per 0,1875 è 0,2964. Si avrà dunque pel calore specifico calcolato $\frac{0,2964}{2,725} = 0,109$. Il doppio di questo numero, che supporrebbe una divisione dell' atomo in 4, sarebbe 0,216; ho trovato 0,169 per osservazione, numero notabilmente minore. Se non si suppone che una divisione in 2, si avrà $0,109\sqrt{2} = 0,153$, numero alquanto inferiore a quello osservato; ma la differenza è molto minore, e se la mia sperienza non è difettosa, questa è la divisione che si dee ammettere; onde il solfato di potassa avrebbe il suo atomo formato di $\frac{1}{2}$ atomo di potassio allo stato di potassa, e $\frac{1}{4}$ d' atomo di zolfo allo stato d' acido solforico; il

numero atomico dell'acido vi sarebbe lo stesso che nell'atomo di solfato di calce, ma vi sarebbe $\frac{1}{2}$ atomo di base in vece di $\frac{1}{4}$, come lo richiede la diversità di composizione che abbiamo attribuita a questi sali. Questa diversità nella divisione dell'atomo non si è trovata nei sotto-carbonati di queste basi, che hanno presentata amendue la divisione in 4.

c. Nitrati. L'acido vi contiene cinque volte la quantità d'ossigeno della base.

Nitrato di soda. Poichè supponiamo la soda formata di $\frac{1}{2}$ atomo d'ossigeno per 1 atomo di sodio, vi si dovranno aggiungere per formare il nitrato 2 $\frac{1}{2}$ atomi d'ossigeno e 1 atomo d'azoto; così il numero costitutivo, non supponendovi divisione, sarà $1+\frac{1}{2}+2\frac{1}{2}+1=5$, di cui la radice è 2,236 e il suo prodotto per 0,1875 è 0,4192. Il peso dell'atomo sarà 1,9545 + 2,5 + 0,886 = 5,340. Quindi il calore specifico calcolato $\frac{0,4192}{5,34}$ =0,0785. Se si raddoppia questo numero si ha 0,157, e se si moltiplica ancora questo per $\sqrt{2}$ si ottiene 0,222; l'osservazione mi ha dato 0,240, numero di poco maggiore; vi è dunque divisione dell'atomo in 8.

Nitrato di potassa. Se supponiamo, come abbiamo fatto precedentemente la potassa composta di $\frac{1}{4}$ d'atomo d'ossigeno per 1 atomo di potassio, questo sale conterrà inoltre $\frac{5}{4}$ d'atomo d'ossigeno dell'acido, e $\frac{1}{2}$ atomo d'azoto; così il suo numero costitutivo, senza divisione, sarà $1+\frac{1}{4}+\frac{5}{4}+\frac{1}{2}=3$, di cui la radice è 1,732. L'atomo della potassa essendo secondo noi 1,475, bisognerà aggiungervi $\frac{5}{4}$ ossia 1,25 per l'ossigeno dell'acido, e $\frac{1}{2}$ 0,886 = 0,443 per l'azoto, il che fa per l'atomo del nitrato 3,168. Si avrà dunque pel calore specifico $\frac{0,3247}{3,168}$ =0,1025. Se si raddoppia questo numero si avrà 0,205; ma l'esperienza avendo dato 0,269, pare che bisogni ancora moltiplicare questo numero per $\sqrt{2}$, il che da 0,290, di poco superiore a 0,269. Vi sarebbe dunque anche quì divisione dell'atomo in 8 come nel nitrato di soda.

Solfato di calce idrato.

In questo sale, solo sale idrato di cui io abbia determinato il calore specifico coll'esperienza, il calcio, lo zolfo, e l'idrogeno sono rispettivamente combinati con quantità d'ossigeno che sono tra loro come i numeri 1, 3, e 2. Il suo numero costitutivo, non supponendo alcuna divisione dell'atomo, è quindi secondo le nostre supposizioni $1+\frac{1}{2}+1\frac{1}{2}+1+1+2=7$, di cui la radice è 2,645, e il suo prodotto per 0,1875 è 0,4959. Il peso dell'atomo, secondo quello che attribuiamo ai suoi componenti, si troverà essere 5,411. Si avrà dunque pel calore specifico $\frac{0,4959}{5,41}=0,0917$. Se si moltiplica questo numero per $\sqrt{8}$ ossia per $2\sqrt{2}$, si ottiene 0,259; l'osservazione ha dato un numero ancor maggiore cioè 0,302; ma probabilmente questo risultato è affetto da qualche errore in più, e ci indica la divisione in 8 come quella da ammettersi. Si è veduto che nel solfato di calce anidro non vi era che una divione in 4; l'atomo di questo sale anidro subirebbe dunque ancora una divisione in 2 nell'idratarsi.

Composti ternarii immediati.

Aggiungerò quì alcune considerazioni sulla costituzione atomica che si può attribuire a due composti ternarii di carbonio, idrogeno ed ossigeno, di cui si ignora con qual ordine si faccia la combinazione, e che si possono quindi considerare come formati dall'unione immediata dei tre elementi; questi composti sono l'alcool e l'etere. Non mi sono occupato io stesso della determinazione del loro calore specifico, ma questo pare ben conosciuto per le sperienze di diversi Fisici. È vero che le loro determinazioni si riferiscono allo stato liquido, onde converrà aver riguardo all'eccesso di calore spe-

cifico che possono avere in questo stato relativamente a quello che questi composti avrebbero allo stato solido.

L' alcool è formato, come è noto, di 2 atomi di carbonio e 4 d' idrogeno che formerebbero il gaz oleifico, e di 1 atomo d' ossigeno e 2 d'idrogeno, che sarebbero elementi dell' acqua, e così in tutto di 2 atomi di carbonio 1 d' ossigeno, e 6 d' idrogeno. Allo stato di vapore il suo volume è uguale a quello dell' idrogeno che coll' ossigeno formerebbe l'acqua; cosicchè un volume o atomo di vapore non contiene che la metà dei numeri d' atomi indicati, cioè 1 carbonio, $\frac{1}{2}$ ossigeno, e 3 idrogeno, in tutto 4 $\frac{1}{2}$ atomi. Egli è in questo stato che noi considereremo dapprima l'atomo dell'alcool, cosicchè il suo numero costitutivo sarà 4,5, di cui la radice è 2,121. Per altra parte si troverà che il peso dell' atomo così composto è 1,4515. Si avrebbe dunque pel suo calore specifico $\frac{0,1875.2,121}{1,4515} = 0,274$. Ora la media tra le diverse estimazioni del calore specifico dell' alcool dato da diversi autori è 0,65, che di poco differisce da 0,622 indicato ultimamente da Despretz secondo le sue sperienze. Se si prende il doppio di 0,274, cioè si ammetta la divisione del supposto atomo dell'alcool in 4, si ha 0,548, numero che sta a 0,65 a un dipresso come 11:13; questo rapporto è poco diverso di quello che ha luogo per l' acqua tra lo stato solido e lo stato liquido ; pare adunque potersi ammettere questa composizione dell'atomo dell'alcool: secondo la quale quest' atomo sarebbe formato di $\frac{1}{4}$ d' atomo di carbonio, $\frac{3}{4}$ d' idrogeno, e $\frac{1}{8}$ d' ossigeno, e l' atomo dell'alcool liquido sarebbe così come quello dell' acqua, la quarta parte del suo atomo gazoso.

La composizione atomica dell'etere è 2 carbonio, 4 idrogeno, elementi del gaz oleifico, $\frac{1}{2}$ ossigeno, 1 idrogeno, elementi dell'acqua: il volume del suo vapore essendo uguale a quello del gaz idrogeno che formerebbe l'acqua col suo ossigeno, il suo atomo gazoso è pur quale lo abbiamo indicato, e così composto in tutto di 2 atomi di carbonio, 5 d' idrogeno e $\frac{1}{2}$

d' ossigeno; quindi il suo numero costitutivo in questo stato è $7\frac{1}{2}$ di cui la radice quadrata è 2,739. Per altra parte si troverà il peso di quest' atomo 2,3405. Si avrà dunque pel suo calore specifico calcolato $\frac{0,1875.2,739}{2,3405} = 0,2195$. Despretz ha trovato pel calore specifico dell' etere liquido 0,520. Se si prende il doppio di 0,2195, col che si viene a supporre una divisione di quell'atomo in 4, si ottiene 0,439, numero che non è inferiore a 0,520, se non di quanto può attribuirsi alla differenza tra lo stato solido e lo stato liquido: infatti il rapporto tra questi due numeri è a un dipresso quello di 44 a 52, cioè di 11 a 13, lo stesso che abbiamo già trovato per l' alcool, e poco diverso da quello che ha luogo per l'acqua. Dalton attribuisce all' etere il calore specifico 0,66, ma egli avrà probabilmente sperimentato sopra etere impuro. Possiamo dunqne attenersi all' ipotesi indicata che ci presenta per l' etere una divisione d' atomo analoga a quella che abbiamo già trovata nell' acqua e nell' alcool relativamente allo stato gazoso, e secondo la quale un atomo d'etere allo stato liquido sarebbe formato di $\frac{1}{2}$ atomo di carbonio, $1+\frac{1}{4}$ d' idrogeno e $\frac{1}{8}$ d' ossigeno.

Conclusione di questa II. parte.

Considerando le diverse applicazioni che abbiamo fatte della legge del calore specifico che abbiamo proposta pei corpi composti allo stato solido o liquido, e che è essenzialmente la stessa che io già avea dedotta pei corpi gazosi dalle esperienze del Sig. Dulong, colle modificazioni derivanti dalle divisioni particolari d' atomi che possono succedere in questi corpi, si scorge che i sistemi di divisione degli atomi a cui siamo stati condotti per soddisfare a questa legge, relativamente alle diverse sostanze di analoga composizione, offrono un complesso d' analogie che pare in generale favorevole alla verificazione di questa legge; e sebbene io non possa pre-

sa pretendere di essermi ben apposto a tale riguardo per ciascun composto particolare, stante gli errori che possono essersi introdotti in alcune sperienze, e la natura semplicemente approssimativa della legge, la cognizione che ne risulta della costituzione atomica dei diversi corpi composti in generale, indipendentemente dal suo rapporto colla teoria dei calori specifici, non pare senza qualche importanza, anche sotto l' aspetto puramente chimico. Radunando i risultati generali a cui siam giunti a questo doppio riguardo, possiamo presentarne il quadro seguente.

1.° Gli atomi dello zolfo e dei metalli in generale, quali essi sono indicati dai calori specifici di questi corpi allo stato solido, e che possiamo distinguere col nome di *atomi termici*, debbono esser ridotti alla metà del valore che i Signori Dulong e Petit loro hanno attribuito nella applicazione della loro legge, e che Berzelius ha addottato, d' onde segue che i numeri d' atomi delle altre sostanze, che questi corpi prendono nelle loro combinazioni con queste, debbono pure ridursi alla metà. Il carbonio ritiene in questo sistema l' atomo ammesso da Berzelius.

2.° Per una conseguenza necessaria il numero costante che rappresenta il prodotto del calore specifico de' corpi solidi semplici, preso per unità quello dell'acqua, per l'atomo di ciascuno di essi prendendo quello dell'ossigeno per unità, e che Dulong e Petit avevano fissato a 0,375, dee ridursi alla sua metà 0,1875. Questo numero rappresenta pure il calore specifico di cui godrebbe l' ossigeno allo stato solido, prendendo per unità quello dell' acqua, ed è poco diverso da quello che esso ha realmente allo stato di gaz sotto volume costante.

3.° Il calore specifico di ciascun atomo d'un corpo composto, prendendo per unità il calore specifico d'un corpo semplice allo stato solido, è espresso approssimativamente dalla radice quadrata del numero che rappresenta quanti atomi o porzioni d'atomi semplici entrano nella formazione dell'atomo composto, numero che chiamiamo il *numero costitutivo* di

quest'atomo. Questa è la legge già da me dedotta pei gaz composti dalle esperienze di Dulong, e che si estende così anche ai corpi solidi. Secondo questa legge il calore specifico di un corpo composto prendendo per unità quello dell'acqua, si trova moltiplicando la radice quadrata del numero costitutivo del suo atomo per 0,1875, e dividendo il prodotto pel peso dell'atomo composto.

4.° L'atomo dell'acqua allo stato liquido, e solido non è che il quarto dell'atomo dell'acqua allo stato di vapore, e che è rappresentato dalla densità di questo vapore; da questo dipende il suo grande calore specifico relativamente a quello che essa dovrebbe avere allo stato di vapore paragonato cogli altri gaz composti. Questa divisione dell'atomo gazoso in 4 pare aver luogo anche nell'alcool e nell'etere allo stato liquido.

5.° Gli atomi de' metalli che si ossidano, si dividono secondo i diversi gradi d'ossidazione, e secondo la lor diversa natura, ora in 2, ora in 4, e talvolta in 8. Lo stesso si dica della formazione dei solfuri e dei cloruri.

6.° Gli atomi degli ossidi sia nell'idratarsi, sia nel combinarsi coi diversi acidi per formar sali, subiscono ordinariamente una divisione ulteriore; e ciò pare ancora accadere agli atomi dei sali anidri passando allo stato d'idrati.

AGGIUNTA ALLA PRESENTE MEMORIA

Ricevuta adì 28. *Luglio* 1832.

Due mesi circa dopo la spedizione della mia memoria *Sul calore specifico de' corpi solidi e liquidi* per essere pubblicata negli Atti della Società Italiana, mi venne alle mani il n°. 9. del 1831, del giornale Tedesco di Poggendorff *Annalen der physik und Chemie*, in cui si trova una memoria del Sig. F. C. Neumann, Professore di Fisica all'Università di Konigsberg, intitolata

Untersuchung uber die specifische Warme der mineralien. L'autore in essa espone la determinazione che egli ha fatta, principalmente col metodo detto *delle mescolanze*, che è pur quello da me adoperato, del calore specifico d'un gran numero di minerali, trà i quali si trovano alcuni de' composti che hanno formato l'oggetto delle mie ricerche. Non credo inutile di quì esaminare in breve, sino a qual segno ci siamo incontrati nei procedimenti e ne' calcoli per l'applicazione di questo metodo, di paragonare i nostri risultati per quelle sostanze di cui ci siamo occupati in comune, e di verificare se quelli di Neumann relativi ai composti che io non ho esaminati, si trovino conformi ai principii teorici generali che io ho cercato di stabilire sul calore specifico de' corpi relativamente alla loro composizione

Il sig. Neumann ha intesa la necessità della correzione relativa alla differenza tra la temperatura della sostanza immersa nell'acqua fredda, e quella acquistata dall'acqua, quando questa è giunta al suo massimo ; ma ne ha stabilito il calcolo in una maniera affatto diversa da quella che ho seguito, sebbene fondato ugualmente sulla legge di Newton, ed estendendo pure questo principio alla perdita del calore dell'acqua nell'aria ambiente. Egli ha per la maggior parte delle sue sperienze rinchiuse anch'esso le sostanze in un vasetto metallico, ma ordinariamente in cristalli intieri, od in pezzi di considerevol grossezza, senza polverizzarli nè stritolarli, riempiendo d'acqua gli intervalli da loro lasciati nel vasetto. Questo non gli permetteva di sperimentare sopra sostanze solubili, od alterabili dall'acqua ; quindi egli non ha esaminato se non minerali pietrosi o metallici, in vece che io ho compreso nelle mie ricerche molti sali ed altri composti solubili. Egli riscaldava il vasetto contenente le sostanze, non tenendolo immerso nell'acqua bollente, ma lasciandolo per qualche tempo in un recipiente in cui faceva passare vapor acqueo, tenendo poi conto della perdita di temperatura che il corpo dovea fare nel suo trasporto da questo recipiente nel vaso di raffred-

damento. In generale egli ha messa molta cura nell''evitare tutte le cause d'error costante, o nel correggerne l'influenza col calcolo, onde i suoi risultati pajono meritare molta confidenza.

Questi risultati, quanto alle sostanze che abbiamo l'uno e l'altro esaminate, offrono molta conformità con quelli che io ho ottenuti, e non ne differiscono in generale, se non di quantità che possono attribuirsi agli errori inevitabili delle esperienze particolari, e che hanno pur luogo tra i risultati delle diverse sperienze di Neumann medesimo sopra una stessa sostanza. Se ne giudicherà dal quadro seguente in cui ho riuniti questi risultati paragonati tra loro. Non vi comprendo quelli trovati da Neumann col metodo fondato sul tempo richiesto pel raffreddamento, e che egli ha pure applicato ad alcune sostanze, perchè questi risultati si trovano per la maggior parte notabilmente diversi dagli altri, e non pajono ammettere la stessa esattezza per le sostanze della natura di quelle di cui quì si tratta. Ho posto accanto ai miei risultati sperimentali anche quelli fondati sulle mie idee teoriche.

CALORE SPECIFICO

	Secondo le mie sperienze	Secondo la teoria	Secondo il Signor Neumann
Calce solfata anidra	0,190(gesso calci.)	0,175	0,1854 (anidrite)
Solfuro di ferro (pirite solforosa)	0,135	0,125	0,1275 a 0,1323
Carbonato di calce	0,203(mar. bian.)	0,2054	0,2015 a 0,2096 (spato calcare) ; 0,1966 a 0,2018 (arragonite)
Quarzo	0,179(quar. bian.)	0,195	0,1883 a 0,1894 (cristallo di rocca)
Ossido di mercurio rosso	0,050	0,0475	0,049
Solfuro di piombo (galena)	0,046	0,0502	0,044
Deutossido di stag.	0,111 (deut. art.)	0,1134	(Zinnstein) 0,0931 ; (Korn. Zinnerz) 0,0965
Orpimento	0,105	0,1086	0,1132
Solfato di cal. idrato (gesso non calcin.)	0,302	0,259	0,2735 a 0,2720
Alumina anidra	0,200 (alumina artificiale calcin.)	0,218	(Corindon) 0,1942 ; (Zaffiro) 0,1972

Si vede che i nostri risultati differiscono di alcune centesime ora in più, ora in meno; e che soventi quelli del sig. Neumann si approssimano di più a quelli che avrebbero dati le leggi che ho cercato di stabilire per mezzo delle mie considerazioni teoriche, mentre altri se ne scostano al quanto più.

Quanto a queste leggi teoriche, il Sig. Neumann non ne deduce alcuna dalle sue sperienze per collegare tra loro i corpi di diversa composizione atomica : egli fa soltanto osservare che in ciascuna classe di corpi di composizione analoga, si verifica la stessa relazione che Dulong e Petit hanno trovata tra le sostanze semplici, cioè che il prodotto del calore specifico a peso uguale pel peso dell' atomo è costante in ciascuna classe, quantunque diverso da una classe all' altra, od in altri termini, che il calore specifico è lo stesso per ciascun atomo dei corpi di analoga composizione. Ora questa è una conseguenza necessaria della legge più compiuta che io ho cercato di stabilire, e che dà una relazione tra il calore specifico dei corpi delle diverse classi di composizione, purchè si supponga che uno stesso sistema di divisione d' atomi abbia luogo in ciascuna di queste classi, come dalle mie sperienze io sono stato condotto in generale ad ammetterlo. Infatti secondo la legge che io ho proposta, il calore specifico di tutti i corpi è espresso dal prodotto d' un numero costante, e lo stesso per tutti, per la radice quadrata di ciò che io ho chiamato il numero costitutivo dell'atomo in ciascuna classe di composti analoghi, quale risulterebbe dall' unione immediata degli atomi componenti primitivi, e per un numero dipendente dalla divisione in due, in quattro ecc. di quest' atomo nella formazione dell' atomo composto, il tutto diviso per quell' atomo primitivamente supposto ; in altri termini il numeratore di questa frazione rappresenta il prodotto del calore specifico d' un corpo qualunque pel suo atomo primitivo. Questo numero dee esser costante per ciascuna classe di composizione atomica, se il sistema di divisione degli atomi vi rimane lo stesso, e il principale argomento in favore della realità di que-

sta legge è appunto l'identità di questo sistema, a cui essa conduce in generale pei corpi di analoga composizione. Poichè dunque secondo le sperienze di Neumann, estese a molti composti che non ho compresi nelle mie, la costanza del suddetto prodotto ha luogo in generale ne' composti di composizione analoga, i risultati di Neumann non fanno che confermare ulteriormente la legge che io ho cercato di stabilire, e di cui questa costanza non è che una conseguenza secondaria. Ma per altra parte il numero maggiore di risultati analoghi, che il lavoro del sig. Neumann ci presenta, ci permette di fissare più esattamente la grandezza media di questo numero costante per ciascuna classe di composti secondo l'esperienza, per paragonarla col valore assoluto che gli è assegnato dalla legge teorica che io ne ho dato, relativamente alla composizione stessa, e di cui il sig. Neumann non ha avuta alcuna idea. Così per esempio ho supposto il calore specifico del carbonato di calce teoricamente espresso dalla frazione $\frac{0,1875 \cdot 1,732 \cdot 2}{3,162} = \frac{0,6494}{3,162}$ dove 0,1875 è il prodotto costante del calore specifico per l'atomo ne' corpi semplici, cioè quello stesso di Dulong e Petit, ridotto alla metà, come ciò diveniva necessario per la riduzione che ho fatta in generale degli atomi de' corpi alla metà di quelli di Dulong e Petit, ossia di quelli attualmente ammessi da Berzelius, del che ho dati i motivi nella mia Memoria; 1,732 è la radice quadrata di 3, numero costitutivo dell'atomo di questo carbonato, che si concepisca formato di 1 atomo di calcio, $\frac{1}{2}$ d'ossigeno, $\frac{1}{2}$ carbonio, ed 1 ossigeno (poichè $1+\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+1=3$), e il fattore 2 aggiunto al numeratore si riferisce ad una divisione dell'atomo suddetto primitivamente supposto in 4, per cui quest'atomo diviene quattro volte minore, e la radice quadrata del numero costitutivo divenuto pure quattro volte minore dee dividersi per $\sqrt{4}$ ossia per 2, onde risulta il fattore $\frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{4}} = \frac{4}{2} = 2$. Per un altro carbonato di composizione analoga, e in cui il sistema di divisione dell'atomo rimanga lo stesso, non si ha che

a sostituire al numero 3,162, atomo primitivo del carbonato di calce, l'atomo corrispondente di quell'altro carbonato; così il calore specifico di tutti i carbonati analoghi a quello di calce, e similmente costituiti, sarà espresso in generale dalla frazione $\frac{0,6494}{\text{atomo}}$: od in altri termini il prodotto del calore specifico per l'atomo di ciascuno, sarà il numero costante 0,6494. Secondo la mia determinazione del calore specifico del carbonato di calce si avea 0,203.3,162=0,6419, numero di cui si dovea attribuire la differenza da 0,6494 all'errore, di cui la mia osservazione poteva essere affetta, ed a che probabilmente la legge stessa di cui si tratta non è che approssimativa, e modificata in parte dalle circostanze particolari nell'aggregazione de' corpi, come io lo penso relativamente alla legge stessa di Dulong e Petit pe' corpi semplici. Prendendo una media tra diverse sperienze di Neumann, il calore specifico del carbonato di calce sarebbe circa 0,205, di cui il prodotto per 3,162 dà 0,6482, numero ancora più prossimo al mio risultato teorico. Neumann prende il doppio di questo numero pel prodotto costante, perchè egli valuta gli atomi al doppio di quello che ho fatto; ma ciò viene allo stesso nel risultato finale. Ora per la considerazione di quattro altri carbonati di composizione analoga, e di cui io non mi sono occupato nelle mie sperienze, Neumann trova per valor medio di questo prodotto 1,300, di cui la metà sarebbe 0,65 numero assai poco diverso da 0,6494: ed io osserverò ancora che se si rimuovono dal calcolo di questa media due risultati che si scostano alquanto più dagli altri a questo riguardo, la media dei tre altri sarebbe 1,299, di cui la metà è 0,6495, cioè quasi precisamente il numero teorico.

Pei solfati di composizione analoga al solfato di calce anidro, il valore teorico del prodotto di cui si tratta, prendendo sempre per atomo primitivo quello in cui il radicale della base entri per un atomo intiero, è 0,1875.4=0,750, numero che ho trovato verificarsi nel solfato di calce, ed in alcuni altri

solfati prossimamente. Neumann per una media tra l'anidrite, lo spato pesante, e la celestina ossia solfato di stronziana, trova questo numero espresso da 1,546 di cui la metà sarebbe 0,773; questo numero supera d'alcun poco il mio risultato teorico 0,75, ma la celestina in particolare gli dà 1,492, di cui la metà è 0,746, numero quasi identico con questo.

Per gli ossidi metallici, che secondo Berzelius contengono 1 atomo d'ossigeno per 1 atomo di metallo, e che, in seguito alla riduzione da me proposta degli atomi alla metà, sarebbero composti di $\frac{1}{2}$ atomo d'ossigeno per ciascun atomo di metallo, il prodotto teorico di cui si tratta, nel sistema di divisione che ho dedotto dalla considerazione di diversi ossidi di quest'ordine, dee essere $0,1875.\sqrt{1,5}.\sqrt{2}=0,3248$. Il doppio che se ne avrebbe calcolando gli atomi come Berzelius e Neumann, sarebbe 0,6496. Neumann facendo entrare nel calcolo del valor medio di questo prodotto, oltre l'ossido rosso di mercurio, gli ossidi di zinco e di rame, e la calce che io ho considerati, anche la magnesia, trova 0,697 per questo numero secondo la sperienza; ma bisogna osservare, che egli ha attribuito alla calce in questo calcolo il calore specifico 0,217, quale lo hanno indicato Lavoisier e La Place, (non avendo egli stesso sperimentato sulla calce) numero che dà un risultato molto diverso dagli altri quattro, e che è realmente affetto da un errore in eccesso secondo le mie sperienze, secondo le quali questo calore specifico non sarebbe che di 0,179. Sostituendo quest'ultimo valore nella media, ed escludendo ancora il risultato dato dalla magnesia, che si scosta pure notabilmente dagli altri, trovo secondo i calori specifici determinati da Neumann per gli altri tre ossidi, la media 0,663, di cui la metà è 0,3315, pochissimo diversa dal numero teorico 0,3248.

Si potrebbero moltiplicare queste determinazioni, considerando altre classi di composti, comprese nelle sperienze del Sig. Neumann, e dare così per mezzo di queste sperienze un'estensione considerevole all'applicazione de' principj che ho

stabiliti nella mia memoria; ma ciò che precede, basta per mostrare, che sebbene il Sig. Neumann non era stato condotto ad alcuna legge per collegare tra loro i calori specifici delle diverse classi di composti, le sue sperienze rinchiudono la confermazione delle mie idee teoriche a questo riguardo; que' numeri, di cui egli ha stabilita la costanza in ciascuna classe, e che non erano per lui che semplici risultati empirici, essendo quelli stessi, che, secondo la parte teorica del mio lavoro, sono determinati dalla costituzione atomica delle classi a cui appartengono. La questione che il Sig. Neumann si proponeva di risolvere estendendo ulteriormente le sue ricerche, cioè *secondo qual legge il calore specifico delle diverse classi di composti varii da una classe all' altra* è dunque già risolta almeno quanto alle basi generali, dalle considerazioni contenute nella mia Memoria.

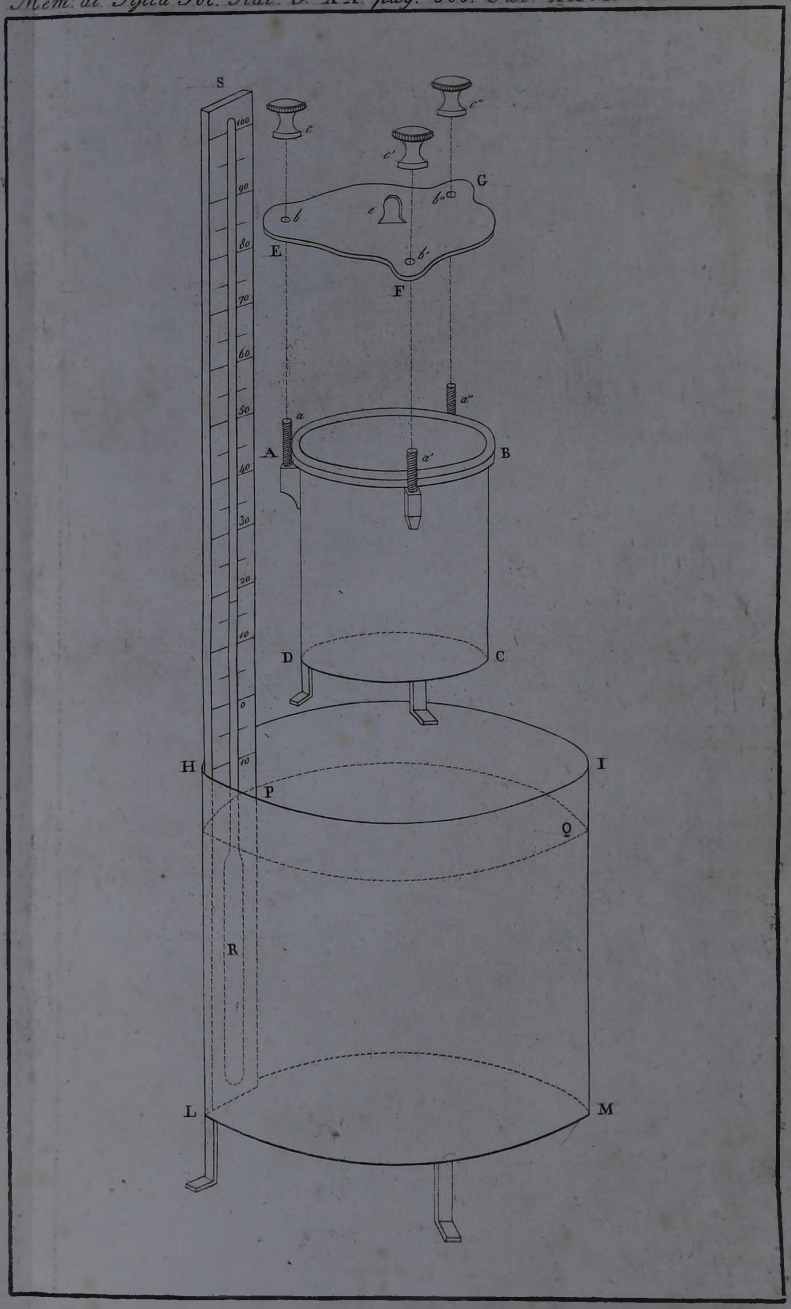
Aggiungerò solo a questo riguardo che l'osservazione che il Sig. Neumann fa di rapporti semplici approssimati tra alcuni dei numeri costanti appartenenti alle diverse classi, la sola che abbia qualche connessione colle leggi del calore specifico, passando da una classe all' altra, non è essa medesima, se non l' espressione delle conseguenze dei rapporti rigorosi che la mia teoria assegna a questi numeri. Egli osserva per esempio che i numeri di cui si tratta pei carbonati e pei solfati sono tra loro prossimamente nel supposto di 7 ad 8; ora secondo le leggi da me indicate, questi numeri sono tra loro come $\sqrt{3.2:2.2}$ ossia come 3,464:4, o finalmente come 6,928:8, rapporto poco diverso infatti da quello di 7:8. Del resto le sperienze non possono dare se non approssimazioni a questi rapporti teorici, sia pei piccoli errori di cui i loro risultati possono essere affetti, sia pei leggeri divarj che le circostanze dell' aggregazione introducono probabilmente nei calori specifici particolari delle diverse sostanze, come già ho accennato.

Non si tratterebbe ora più, per dare la conveniente estensione a questo nuovo ramo della scienza fisico-chimica, che di esaminare partitamente sia i numerosi risultati che il Sig.

Neumann ci ha fatto conoscere, sia quelli che le ulteriori sperienze de' Fisici ci forniranno sul calore specifico de' diversi corpi, onde fissare la costituzione atomica delle diverse classi de' composti conosciuti, e formarne un generale sistema.

P. S. Dopo la spedizione della mia memoria furono pure pubblicate negli *Annales de Chimie et Physique, Fevrier et Juin* 1832, le sperienze del Sig. Dumas sulla densità dei vapori del fosforo e dello zolfo. Egli ha trovata la prima doppia, e la seconda tripla di quella che corrisponderebbe all'atomo di ciascuno di questi due corpi, quale ora è generalmente ammesso. Secondo quello che ho esposto nella mia Memoria la densità del vapor dello zolfo, e probabilmente quella del fosforo, avuto riguardo all'analogia di quest' ultimo coll' arsenico, non dovrebbe al contrario essere che la metà di quella finquì ammessa, per corrispondere all'atomo di questi corpi allo stato solido, quale è indicato dalla legge di Dulong e Petit sul calore specifico. Il Sig. Dumas istesso non pare esser d' avviso che si debba considerare la densità del vapor di zolfo da lui osservata, come la vera espressione del suo atomo, da cui dipendono le proporzioni nelle sue combinazioni; e in generale sembra potersi argomentare da queste determinazioni del Sig. Dumas, che anche l'atomo gazoso de' corpi semplici è soggetto a riunioni, e separazioni analoghe a quelle già note nella formazione de' gaz composti, e per cui la densità d'un corpo allo stato di gaz non può riguardarsi più come la vera misura e costante del suo atomo ad esclusione d' ogni altra determinazione. Quindi si conferma la necessità di distinguere, e di determinare separatamente, per ciascuna sostanza, l' atomo relativo alle sue diverse proprietà e stati d' aggregazione, e la convenienza in particolare della denominazione di *atomi termici allo stato solido*, con cui ho più precisamente dinotati gli atomi determinati nella mia Memoria per mezzo dei calori specifici. Aggiungerò che questi atomi termici

dei corpi semplici presi in un medesimo stato, cioè quelli per cui ha luogo l'uguaglianza di calore specifico, possono considerarsi come la più probabile e spressione dei rapporti degli atomi presi nel senso più rigoroso, cioè delle masse delle ultime ed *indivisibili* particelle de' corpi, o che viene allo stesso, di particelle integranti de' medesimi, composte di un ugual numero di questi atomi indivisibili. Ho altronde allegate nella mia Memoria le ragioni che si hanno di credere, che l'atomo termico dell'ossigeno, che ho preso per unità degli atomi termici degli altri corpi allo stato solido, sia uguale all'atomo gazoso dell'ossigeno, onde ne seguirebbe, che i nostri atomi termici esprimerebbero pure le densità dei gaz dei diversi corpi semplici prendendo per unità quella del gaz ossigeno, se la costituzione dell'atomo gazoso fosse per tutti la stessa che pel gaz ossigeno, il che, secondo le determinazioni del Sig. Dumas, non pare sempre accadere.


S
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
10
c
c'
c''
G
b
b''
r
E
b'
F
a
a''
A
a'
B
D
C
H
I
P
Q
R
L
M

FIS1375